

# Đánh giá hệ số hiệu quả của tro bay đến cường độ nén theo thời gian của hệ nền xi măng - tro bay

Lưu Xuân Lộc<sup>1,2\*</sup>, Bùi Phương Trinh<sup>1,2</sup>, Bùi Nguyễn Thanh Bình<sup>1,2</sup>, Phạm Thiên Vũ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh, số 268 đường Lý Thường Kiệt, quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>2</sup> Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, phường Linh Trung, quận Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

## TỪ KHOẢ

Cường độ nén  
 Hệ nền xi măng  
 Hệ số hiệu quả  
 Tro bay

## TÓM TẮT

Gần đây, tro bay đang ngày càng được sử dụng như một vật liệu thay thế một phần xi măng trong việc chế tạo bê tông. Để tận dụng hiệu quả tro bay thay thế xi măng trong bê tông, hệ số hiệu quả (k) của tro bay đến cường độ nén theo thời gian của hệ nền xi măng-tro bay được nghiên cứu. Trong nghiên cứu này, hệ nền xi măng-tro bay với tỷ lệ nước trên chất kết dính (bao gồm xi măng Portland và tro bay loại F) là 0,40. Hai loại xi măng được lựa chọn và tro bay loại F được sử dụng thay thế từ 0; 5; 10; 15; 20; 30; 40 và 50 % theo khối lượng của xi măng. Kết quả cho thấy rằng tro bay đã làm giảm cường độ nén của hệ nền xi măng tro bay ở mỗi độ tuổi cụ thể, tức ở độ tuổi 7; 14; 28 và 56 ngày. Hệ số k của tro bay ở độ tuổi 7 ngày nằm trong khoảng từ 0,10 đến 0,59 và dần gia tăng theo thời gian. Giá trị k gia tăng càng lớn khi hàm lượng tro bay càng ít.

## KEYWORDS

Compressive strength  
 Cement paste  
 Efficiency factor  
 Fly ash

## ABSTRACT

In recent years, fly ash is increasingly used as a partial replacement of cement for concrete production. Effect of efficiency factor (k) of fly ash on compressive strength of fly ash-cement paste was investigated in order to effectively utilize fly ash. In the experiment, fly-ash cement paste with a water-to-cementitious materials (including Portland cement and Class-F fly ash) ratio of 0.40. Two types of cement were prepared and the replacement ratios of Portland cement by Class-F fly ash were 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 và 50% by mass. Results show that fly ash reduced the compressive strength of the hardened fly-ash cement paste at each age (i.e., at 7, 14, 28, and 56 days). The efficiency factor (k) of fly ash at the age of 7 days was in the range from 0.10 to 0.59 and gradually increased with time. The lower the replacement of cement by fly ash, the higher the value of the efficiency factor (k).

## 1. Giới thiệu

Gần đây, tro bay đang được Chính phủ Việt Nam khuyến khích đem vào sử dụng như một loại phụ gia khoáng hoạt tính thay thế một phần xi măng trong việc chế tạo bê tông. Việc sử dụng này đã mang lại một số lợi ích về mặt môi trường, kinh tế và kỹ thuật, cụ thể như làm giảm hàm lượng khí CO<sub>2</sub> thải ra từ công nghiệp sản xuất xi măng; làm giảm diện tích bãi chứa tro bay phế thải từ các nhà máy nhiệt điện; làm giảm chi phí xây dựng do giá thành tro bay thấp hơn xi măng rất nhiều; làm nâng cao một số tính chất của hỗn hợp bê tông và cải thiện độ bền cho các công trình xây dựng ở các độ tuổi về sau [4]. Do đó, cần phải có tầm nhìn bao quát và hiểu biết sâu rộng về hiệu quả thật sự của tro bay trong công nghệ bê tông để có thể tận dụng hiệu quả loại phụ gia khoáng này.

Trên thế giới, có rất nhiều nghiên cứu đã đưa ra khái niệm về hệ số hiệu quả (k) của tro bay đến tính chất của bê tông tro bay bao gồm cường độ cũng như độ bền [1, 2, 3, 6, 7, 8, 9]. Hệ số k của tro bay đến

tính chất của bê tông được định nghĩa là một phần tro bay thay thế xi măng trong bê tông nhưng vẫn đảm bảo tính chất tương đương với tính chất của bê tông khi sử dụng 100 % xi măng [7, 10]. Hệ số k đặc biệt còn đóng vai trò là một trong những tham số đặc trưng khi tính toán thiết kế cấp phối bê tông tro bay theo tiêu chuẩn EN 206-1 [11]. Nhận thấy rằng hệ số k của tro bay đến cường độ của hệ nền xi măng ở Việt Nam hầu như chưa được nghiên cứu nhiều. Do đó, mục tiêu của đề tài là đánh giá hệ số hiệu quả k của tro bay đến cường độ nén của hệ nền xi măng-tro bay theo thời gian để từ đó, có cái nhìn toàn diện về hiệu quả của tro bay khi tận dụng thay thế xi măng trong bê tông. Để thực hiện mục tiêu trên, hệ nền xi măng với ba tỷ lệ nước trên xi măng (N/X) được khảo sát là 0,30, 0,40 và 0,50 nhằm tìm được mối quan hệ giữa cường độ nén và tỷ lệ X/N. Hệ nền xi măng-tro bay được nghiên cứu với tỷ lệ nước trên chất kết dính (bao gồm xi măng và tro bay) (N/CKD) là 0,40; đồng thời hai loại xi măng portland và một tro bay loại F được sử dụng. Tro bay được sử dụng thay thế từ 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 đến 50 % theo khối lượng của xi măng.

\*Liên hệ tác giả: lxloc@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 15/01/2022, sửa xong ngày 23/11/2021, chấp nhận đăng 05/06/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2022.325>

**2. Thực nghiệm**

**2.1 Nguyên vật liệu**

Xi măng sử dụng trong đề tài này bao gồm hai loại xi măng, đó là xi măng Portland Hà Tiên (PC40) đáp ứng theo TCVN 2682:2009 [12] và xi măng Nghi Sơn loại I đáp ứng theo ASTM C150 [5]. Để đánh giá hệ số hiệu quả của tro bay đến cường độ nén của hệ nền xi măng-tro bay theo thời gian, tro bay loại F được lấy từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải đáp ứng theo TCVN 10302:2014 [14]. Khối lượng riêng của xi măng Hà Tiên và Nghi Sơn lần lượt là 2,93 và 2,96 g/cm<sup>3</sup>. Độ nghiền mịn theo phần trăm còn sót lại trên sàng 0,09 mm của xi măng Hà Tiên và Nghi Sơn lần lượt là 0,93 và 0,75 %. Trong khi, tro bay Duyên Hải có khối lượng riêng là 2,56 g/cm<sup>3</sup> và độ nghiền mịn theo phần trăm còn sót lại trên sàng 0,09 mm là 3,38 % và sàng 0,045 mm là 13,0 %. Thành phần hóa học của hai loại xi măng và tro bay được thể hiện ở Bảng 1. Nước sử dụng là nước không chứa các thành phần hóa học, tạp chất gây ảnh hưởng bất lợi đến xi măng và tro bay, phù hợp theo TCVN 4506:2012 [13].

**Bảng 1.** Thành phần hóa học của hai loại xi măng và tro bay loại F.

Thành phần hóa học (%)	Xi măng Hà Tiên	Xi măng Nghi Sơn	Tro bay
SiO <sub>2</sub>	21,98	22,46	49,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,28	4,16	23,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,53	1,98	10,63
CaO	62,57	64,05	8,50
Na <sub>2</sub> O	0,37	0,08	0,13
K <sub>2</sub> O	0,01	0,55	0,88
MgO	1,56	1,38	2,25
SO <sub>3</sub>	1,89	2,51	1,24
Mất khi nung	2,89	1,56	2,10

**2.2. Tỷ lệ thành phần hỗn hợp xi măng-tro bay**

Để khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ X/N đến cường độ nén của hệ nền xi măng không tro bay, ba tỷ lệ N/X là 0,30; 0,40 và 0,50 được lựa chọn và hai loại xi măng Hà Tiên và Nghi Sơn được chuẩn bị. Đối với hệ nền xi măng-tro bay, một tỷ lệ N/CKD là 0,40 được chuẩn bị để tiến hành đúc mẫu. Để đánh giá hệ số hiệu quả (k) của tro bay đến cường độ nén của hệ nền xi măng-tro bay, tro bay Duyên Hải được sử dụng thay thế từ 5, 10, 15, 20, 30, 40 đến 50 % theo khối lượng của hai loại xi măng Hà Tiên và Nghi Sơn. Dựa trên các tỷ lệ thành phần trên, hai mươi cấp phối được thiết kế cho quá trình thực nghiệm.

**2.3. Chuẩn bị mẫu**

Hỗn hợp hồ xi măng được nhào trộn trong máy nhào trộn vữa ELE theo trình tự sau: (1) cho xi măng Hà Tiên hoặc Nghi Sơn vào giữa cối trộn và dùng bay trộn đều hỗn hợp khô, (2) cho nước nhào trộn vào cối trộn và trộn cùng với hỗn hợp khô trong 30 giây ở tốc độ

chậm, (3) dừng máy trộn và vét hỗn hợp dính ở thành cối trộn và cánh trộn trong 15 giây, (4) trộn tốc độ nhanh trong 90 giây, (4) dừng máy trộn và tiến hành đúc vào khuôn để thí nghiệm cường độ nén. Hỗn hợp hồ xi măng-tro bay cũng được nhào trộn theo quy trình tương tự như trên với hỗn hợp hồ xi măng trong máy nhào trộn vữa ELE sau khi trộn khô hỗn hợp xi măng Hà Tiên hoặc Nghi Sơn và tro bay trong cối trộn.

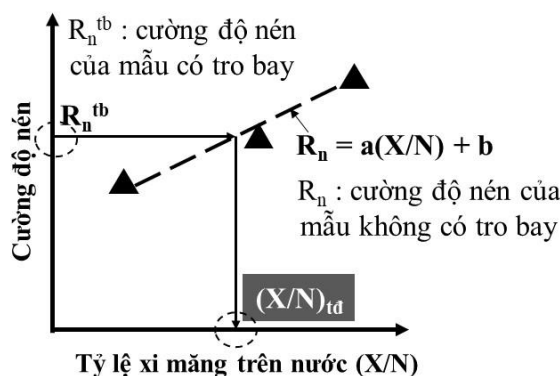
**2.4. Quy trình thí nghiệm**

Sau khi nhào trộn, hỗn hợp hồ được đưa vào trong khuôn lãng trụ có kích thước 40×40×160 mm mà được làm sạch và bôi dầu khuôn. Sau đó, tiến hành dưỡng hồ mẫu trong khuôn ở nhiệt độ 29±1 °C và độ ẩm tương đối 90±5 %. Sau 24 h trong khuôn, các mẫu lần lượt được tháo khuôn và được dưỡng hồ trong bể dưỡng hồ nước cho đến ngày tuổi thí nghiệm nén.

Cường độ nén của các mẫu sau khi gẫy từ các mẫu 40×40×160 mm ứng với mỗi cấp phối được tiến hành kiểm tra bằng máy nén thủy lực ở từng độ tuổi quy định, cụ thể ở các độ tuổi 7, 14, 28 và 56 ngày.

**2.5 Hệ số hiệu quả (k) của tro bay đến cường độ nén**

Theo Huỳnh và các cộng sự [6], hệ số hiệu quả (k) của tro bay được xác định dựa trên mối quan hệ giữa cường độ của mẫu xi măng không sử dụng tro bay và tỷ lệ X/N. Mối quan hệ giữa cường độ của mẫu xi măng không sử dụng tro bay và tỷ lệ X/N được thể hiện trên Hình 1, giúp xác định tỷ lệ xi măng trên nước tương đương (X/N)<sub>td</sub> theo cường độ nén của mẫu có sử dụng tro bay.



**Hình 1.** Mối quan hệ giữa cường độ nén và tỷ lệ X/N.

Khi đó, hệ số hiệu quả (k) của tro bay đến cường độ nén được xác định theo công thức (1)

$$k = \left( \frac{(X/N)_{td}}{(X/N)} - 1 \right) \times \left( \frac{1-r}{r} \right) \tag{1}$$

trong đó:

(X/N)<sub>td</sub> là tỷ lệ X/N tương đương

X/N là tỷ lệ X/N

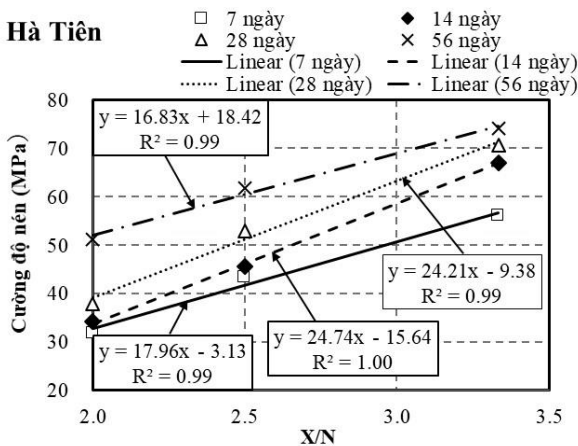
r: hàm lượng tro bay thay thế xi măng (%)

- +  $k < 0$  chứng tỏ tro bay trở về mặt phản ứng.
- +  $0 < k < 1$  chứng tỏ tro bay bắt đầu phản ứng nhưng hiệu suất thấp hơn xi măng.
- +  $k > 1$  chứng tỏ tro bay có hiệu suất phản ứng cao hơn xi măng.

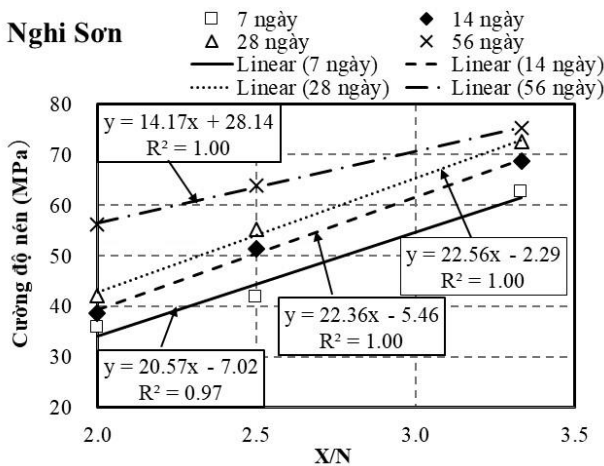
**3. Kết quả và thảo luận**

**3.1. Cường độ nén của hệ nền xi măng không tro bay**

Kết quả ảnh hưởng của tỷ lệ X/N đến cường độ nén theo thời gian của hệ nền xi măng Hà Tiên không sử dụng tro bay được thể hiện ở Hình 2. Kết quả cho thấy rằng cường độ nén gia tăng theo thời gian ứng với mỗi tỷ lệ X/N. Hơn thế, cường độ nén của hệ nền xi măng Hà Tiên không sử dụng tro bay tỷ lệ thuận với tỷ lệ X/N ứng với mỗi độ tuổi cụ thể, tức độ tuổi 7, 14, 28, và 56 ngày. Mỗi quan hệ này được thể hiện ở dạng phương trình bậc nhất có dạng  $y = ax + b$  theo từng độ tuổi tương ứng như được nhìn thấy trên Hình 2. Xu hướng này cũng được quan sát trên hệ nền xi măng Nghi Sơn không sử dụng tro bay và được thể hiện trên Hình 3.



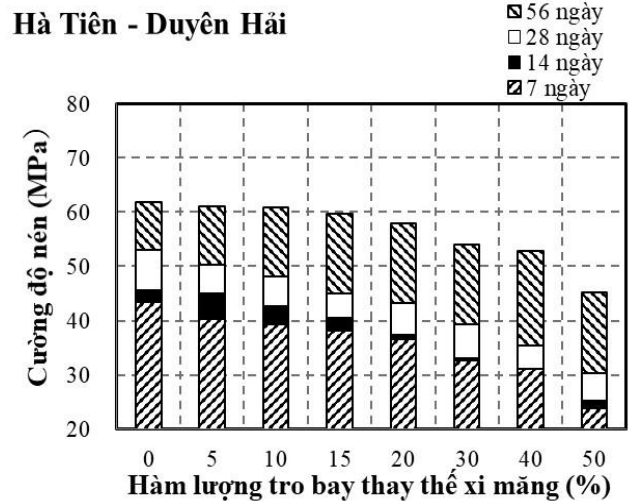
Hình 2. Ảnh hưởng của tỷ lệ X/N đến cường độ nén theo thời gian của hệ nền xi măng Hà Tiên không sử dụng tro bay.



Hình 3. Ảnh hưởng của tỷ lệ X/N đến cường độ nén theo thời gian của hệ nền xi măng Nghi Sơn không sử dụng tro bay.

**3.2. Cường độ nén của hệ nền xi măng-tro bay**

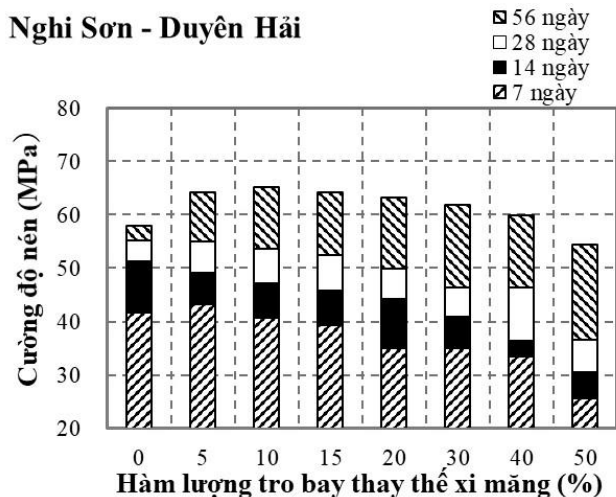
Kết quả ảnh hưởng của hàm lượng tro bay thay thế xi măng đến cường độ nén theo thời gian của hệ nền xi măng Hà Tiên-tro bay Duyên Hải có tỷ lệ N/CKD là 0,40 được thể hiện ở Hình 4. Nhận thấy rằng cường độ nén của tất cả các mẫu sử dụng xi măng Hà Tiên phát triển theo thời gian, không phụ thuộc vào việc sử dụng tro bay Duyên Hải. Tuy nhiên, khi sử dụng tro bay, cường độ nén của mẫu thấp hơn so với mẫu không sử dụng tro bay ở tất cả độ tuổi (tức 7, 14, 28, và 56 ngày), và giá trị càng thấp khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng càng lớn. Điều này là do phản ứng pozzolan của tro bay xảy ra rất chậm khi trong hệ nền có nồng độ kiềm OH<sup>-</sup> thấp vì hàm lượng xi măng thấp. Tuy nhiên, quan sát thấy rằng cường độ nén về sau (ở tuổi 56 ngày) của hệ nền xi măng Hà Tiên sử dụng từ 5 đến 15 % tro bay thay thế cũng được cải thiện do phản ứng pozzolan của tro bay và đạt giá trị xấp xỉ gần bằng với giá trị cường độ nén của mẫu không sử dụng tro bay (xem Hình 4).



Hình 4. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến cường độ nén theo thời gian của hệ nền xi măng Hà Tiên-tro bay Duyên Hải có tỷ lệ N/CKD là 0,40.

Kết quả ảnh hưởng của hàm lượng tro bay thay thế xi măng đến cường độ nén theo thời gian của hệ nền xi măng Nghi Sơn-tro bay Duyên Hải có tỷ lệ N/CKD là 0,40 được thể hiện ở Hình 5. Tương tự xi măng Hà Tiên, cường độ nén của tất cả các mẫu sử dụng xi măng Nghi Sơn cũng phát triển theo thời gian, không phụ thuộc vào việc sử dụng tro bay Duyên Hải. Tuy nhiên, khi sử dụng tro bay, cường độ nén của mẫu thấp hơn so với mẫu không sử dụng tro bay ở các độ tuổi ban đầu (tức ở độ tuổi 7 và 14 ngày), và giá trị càng thấp khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng càng lớn. Điều này cũng được giải thích là do phản ứng pozzolan của tro bay trong hệ nền xảy ra chậm. Tuy nhiên, ở độ tuổi 28 ngày, cường độ nén của mẫu Nghi Sơn sử dụng 5 % tro bay có cường độ xấp xỉ cường độ nén của mẫu không sử dụng tro bay. Không

những thể, cường độ của các mẫu Nghi Sơn sử dụng từ 5-40% tro bay thay thế có giá trị lớn hơn cường độ của mẫu không sử dụng tro bay ở độ tuổi 56 ngày (xem Hình 5). Điều này có thể là do phản ứng pozzolan của tro bay đã góp phần cải thiện hệ nền xi măng Nghi Sơn, làm gia tăng cường độ về sau cho hệ nền xi măng Nghi Sơn.



Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến cường độ nén theo thời gian của hệ nền xi măng Nghi Sơn-tro bay Duyên Hải có tỷ lệ N/CKD là 0,40.

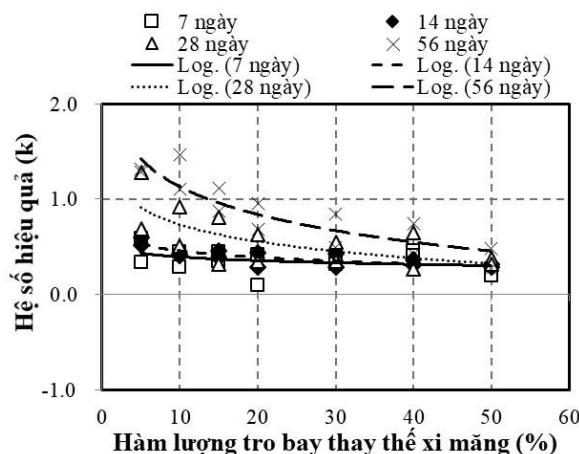
So sánh hai kết quả cường độ nén của Hình 4 và 5, nhận thấy rằng mặc dù cường độ ban đầu của cả hai hệ nền xi măng Hà Tiên và Nghi Sơn đều thấp nhưng cường độ về sau của hệ nền Nghi Sơn được cải thiện đáng kể khi sử dụng tro bay Duyên Hải thay thế một phần xi măng. Kết luận tro bay Duyên Hải đã làm giảm cường độ ban đầu của hệ nền đá xi măng nhưng đã cải thiện cường độ về sau.

3.3. Hệ số hiệu quả (k) của tro bay đến cường độ nén

Bảng 2 thể hiện kết quả hệ số hiệu quả (k) được xác định dựa trên công thức (1) như đã trình bày trong phần 2.5. Mối quan hệ giữa hệ số hiệu quả (k) và hàm lượng tro bay thay thế hai loại xi măng Hà Tiên và Nghi Sơn được thiết lập trên Hình 6. Nhận thấy rằng hệ số hiệu quả (k) của tro bay ở độ tuổi 7 ngày nằm trong khoảng từ 0.10 đến 0,59; xem thêm Bảng 2. Điều đó chứng tỏ rằng tro bay đã bắt đầu phản ứng ở tuổi 7 ngày nhưng hiệu suất phản ứng thấp hơn quá trình hydrat hóa của xi măng. Hơn thế, hệ số hiệu quả (k) không cố định là một hằng số mà thay đổi, tức gia tăng dần theo thời gian. Ngoài ra, giá trị k càng lớn khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng càng ít. Ngược lại, giá trị k càng thấp khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng càng nhiều. Giá trị k lớn hơn 1 trong một số trường hợp ở tuổi 56 ngày như được nhìn thấy ở Bảng 2 và Hình 6, chứng tỏ rằng tro bay có hiệu suất phản ứng cao hơn quá trình hydrat hóa của xi măng.

Bảng 2. Hệ số hiệu quả (k) của tro bay Duyên Hải.

Hàm lượng tro bay thay thế xi măng (%)	X/N	Hệ số hiệu quả (k) ở độ tuổi			
		7 ngày	14 ngày	28 ngày	56 ngày
<i>Xi măng Hà Tiên</i>					
5	2,38	0,34	0,60	0,69	1,28
10	2,25	0,45	0,41	0,51	1,10
15	2,13	0,45	0,39	0,32	0,88
20	2,00	0,42	0,29	0,35	0,69
30	1,75	0,32	0,29	0,35	0,49
40	1,50	0,41	0,31	0,26	0,42
50	1,25	0,20	0,32	0,31	0,27
<i>Xi măng Nghi Sơn</i>					
5	2,38	0,59	0,52	0,51	1,32
10	2,25	0,29	0,43	0,49	1,46
15	2,13	0,35	0,46	0,50	1,12
20	2,00	0,10	0,44	0,36	0,95
30	1,75	0,40	0,43	0,33	0,85
40	1,50	0,46	0,37	0,49	0,75
50	1,25	0,27	0,29	0,19	0,48



Hình 6. Mối quan hệ giữa hệ số hiệu quả (k) và hàm lượng tro bay thay thế hai loại xi măng Hà Tiên và Nghi Sơn.

4. Kết luận

Từ những kết quả thực nghiệm, những kết luận sau có thể được rút ra:

- Cường độ nén phụ thuộc vào tỷ lệ X/N và phát triển theo thời gian.
- Tro bay đã làm giảm cường độ ban đầu của hệ nền xi măng-tro bay. Điều này là do phản ứng pozzolan của tro bay xảy ra chậm. Mặc dù cường độ ban đầu của cả hai hệ nền xi măng Hà Tiên và

Nghi Sơn đều thấp nhưng cường độ về sau của hệ nền xi măng Nghi Sơn được cải thiện đáng kể khi sử dụng tro bay Duyên Hải thay thế một phần xi măng.

- Hệ số hiệu quả ( $k$ ) của tro bay ở độ tuổi 7 ngày nằm trong khoảng từ 0,10 đến 0,59; chứng tỏ tro bay đã bắt đầu phản ứng nhưng hiệu suất thấp hơn quá trình hydrat hóa của xi măng. Hệ số hiệu quả ( $k$ ) gia tăng dần theo thời gian. Giá trị  $k$  càng lớn khi hàm lượng tro bay thay thế xi măng càng ít, và thậm chí lớn hơn 1 ở độ tuổi 56 ngày trong một số trường hợp tro bay thay thế xi măng từ 5 đến 15 % theo khối lượng.

#### Lời cảm ơn

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa - ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. Chúng tôi cũng xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến Ông Lê Đại Thành thuộc công ty xi măng Hà Tiên 1, Ông Trần Quốc Thọ thuộc nhà máy xi măng Nghi Sơn và Ông Lâm Quan Bửu Lộc thuộc Công ty xi măng Sài Gòn đã hỗ trợ nguyên vật liệu.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Aponte D.F., Barra M. và Vazquez E., Durability and cementing efficiency of fly ash in concretes, *Construction Building Materials*, 2012, Vol. 30, 537-546.
- [2]. Babu K.G. và Rao S.N., Efficiency of fly ash in concrete with age, *Cement Concrete Research*, 1996, Vol. 26, 465-474.
- [3]. Bijen J. và Selst R.V., Cement equivalence factors for fly ash, *Cement Concrete Research*, 1993, Vol. 23, 1029-1039.
- [4]. Hemalatha T. và Ramaswamy A., A review on fly ash characteristics – towards promoting high volume utilization in developing sustainable concrete, *Cleaner Production*, 2017, 546-559.
- [5]. Hiệp hội Thí nghiệm và Vật liệu Hoa Kỳ, ASTM C 150 Standard specification for Portland cement, 2004.
- [6]. Huynh T.P., Hajiri M., Bui P.T., Ogawa Y. và Kawai K., An evaluation of cementing efficiency of fly ash on strength development of mortar by ratio of  $SiO_2/C_3S$ , *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> ACF symposium 2017 Innovations for sustainable concrete infrastructures*, 2017, Chiangmai, Thailand.
- [7]. Khan A.N., Magar R.B. và Chore H.S., Efficiency factor of supplementary cementitious materials: A state of art, *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, 2018, Vol. 8, 247-253.
- [8]. Papadakis V.G. và Tsimas S., Supplementary cementing materials in concrete Part I: efficiency and design, *Cement Concrete Research*, 2002, Vol. 32, 1525-1532.
- [9]. Papadakis V.G., Antiohos S. và Tsimas S., Supplementary cementing materials in concrete Part II: A fundamental estimation of the efficiency factor, *Cement Concrete Research*, 2000, Vol. 32, 1533-1538.
- [10]. Smith I.A., The design of fly-ash concretes, *P I Civil Engineering*, 1967, 769-790.
- [11]. Tiêu chuẩn Châu Âu, EN 206-1 Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity (English version), European standard, 2000.
- [12]. Tiêu chuẩn Việt Nam, TCVN 2682:2009 – Xi măng Portland – Yêu cầu kỹ thuật, 2009.
- [13]. Tiêu chuẩn Việt Nam, TCVN 4506:2012 – Nước cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật, 2012.
- [14]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 10302:2014 – Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng, 2014.