

# ẢNH HƯỞNG CỐT LIỆU CERAMIC ĐỐI VỚI CƯỜNG ĐỘ VÀ MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA BÊ TÔNG THƯỜNG VÀ BÊ TÔNG SỬ DỤNG TRO BAY

## EFFECTS OF CERAMIC AGGREGATE ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND ELASTIC MODULUS OF NORMAL CONCRETE AND FLY ASH-CONCRETE

PHẠM VĂN TOÀN\*, NGUYỄN PHAN ANH, PHẠM THỊ NGÀ

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: toanpv@vamaru.edu.vn

### Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của ceramic nghiền từ gạch, ngói ceramic phế liệu thay thế một phần cốt liệu đá hạt thô như là vật liệu dưỡng hồ bê tông từ bên trong đối với cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông có sử dụng tro bay. Các mẫu bê tông sử dụng tro bay với tỉ lệ thay thế xi măng là 40% theo khối lượng và tỉ lệ thay thế cốt liệu đá hạt thô bằng hỗn hợp nghiền ceramic là 40% theo thể tích, tỉ lệ nước/xi măng mức thấp là 0,3. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng hỗn hợp nghiền ceramic góp phần nâng cao cường độ của bê tông sử dụng tro bay từ 8%-16% và làm giảm mô đun đàn hồi của bê tông sử dụng tro bay từ 10%-14%. Bên cạnh đó, việc kết hợp sử dụng tro bay cùng với hỗn hợp nghiền ceramic là vật liệu dưỡng hồ bê tông từ bên trong đem lại kết quả rất tốt, góp phần nâng cao cường độ bê tông sử dụng tro bay thay thế cho xi măng với tỉ lệ cao.

**Từ khóa:** Cường độ bê tông, cốt liệu ceramic, mô đun đàn hồi bê tông, tro bay, dưỡng hồ bên trong bê tông.

### Abstract

The investigation of the effects of waste ceramic aggregate as an internal curing agent on compressive strength, elastic modulus of concrete using fly ash replacement for cement with a water/binder ratio of 0.3 was carried out. The concrete in which the replacement ratio of cement by fly ash was 40% by mass and that of replacement of ceramic waste for coarse aggregate 40% by volume. The results show that the ceramic waste aggregate played as internal curing that increased the compressive strength of concrete by 8%-16% and decreased the elastic modulus by 5%-12%. It is claimed that the corporation of ceramic waste and fly ash give a benefit of improvement of the concrete compressive strength.

**Keywords:** Compressive strength, modulus of elasticity, ceramic waste, internal curing, fly ash.

### 1. Giới thiệu

Việc sử dụng tro bay trong bê tông đã được nghiên cứu ứng dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp vật liệu xây dựng bởi các ưu điểm tuyệt vời về độ bền [1]. Tuy nhiên do tốc độ phản ứng pozzolanic diễn ra khá chậm dẫn đến sự phát triển cường độ sớm của bê tông sử dụng tro bay là chậm hơn so với sự phát triển cường độ bê tông không sử dụng tro bay [2]. Do đó để tăng cường độ sớm, bù đắp cho sự phát triển cường độ chậm của bê tông sử dụng tro bay việc giảm tỉ lệ nước/xi măng (N/X) đã được kiến nghị áp dụng. Nhưng tỉ lệ N/X thấp kéo theo những rủi ro và hệ lụy như có thể làm tăng co ngót, dễ gây ra các vết nứt,... đòi hỏi công tác dưỡng hồ bê tông phải được chú trọng nhiều hơn có thể phát sinh thêm các chi phí xây dựng công trình.

Công tác dưỡng hồ bê tông ngay sau khi đúc cần phải được hết sức quan tâm, chú ý nhằm nâng cao chất lượng bê tông. Có 2 dạng dưỡng hồ bê tông là dưỡng hồ ngoài và dưỡng hồ từ bên trong. Dưỡng hồ ngoài là sử dụng nước bên ngoài như ngâm bê tông trong nước, tưới nước, phủ tấm thấm ẩm (bao tải gai, vải,...) để giữ cho bề mặt bê tông luôn ẩm và cung cấp thêm nước cho quá trình thủy hóa của bê tông sau khi đúc. Một biện pháp dưỡng hồ khác đó là dưỡng hồ từ bên trong kết cấu bê tông; phương pháp này không chỉ cung cấp nước thay thế cho lượng nước bốc hơi mà còn duy trì độ ẩm tương đối bên trong bê tông. Các vật liệu có độ rỗng cao như cấp phối hạt có trọng lượng nhẹ, polymer siêu hấp phụ, bê tông tái chế, gạch ngói ceramic đã được sử dụng làm các vật liệu dưỡng hồ từ bên trong [3, 4] nhờ các đặc tính hấp thụ nước khi ngâm bão hòa và có khả năng giải phóng lượng nước đã hấp thụ này bên trong cấu trúc bê tông khi được trộn trong thành phần cấp phối bê tông.

Việc sử dụng vật liệu dưỡng hồ từ bên trong có thể giảm thiểu những rủi ro do việc phát sinh vết nứt ở tuổi sớm của bê tông cũng như cải thiện cường độ và

độ bền của bê tông. Việc ứng dụng vật liệu dưỡng hộ từ bên trong được khuyến cáo áp dụng cho bê tông sử dụng tro bay với cấp phối có tỉ lệ nước/xi măng thấp [5, 6, 7, 8] do các ưu điểm như làm giảm hiện tượng co ngót tự sinh trong bê tông và giảm thiểu vết nứt ở tuổi sớm của bê tông [5, 6]. Các nghiên cứu cũng đã công bố rằng việc sử dụng hỗn hợp nghiền ceramic làm vật liệu dưỡng hộ bên trong giúp tăng cường độ của bê tông, làm giảm co ngót tự sinh và tổng thể tích lỗ rỗng của bê tông có chứa tro bay thay thế xi măng thông thường và xi măng ninh kết sớm [7, 8, 9, 10, 11].

Các nghiên cứu trước đó, việc sử dụng ceramic với hàm lượng cao trong thành phần cốt liệu hạt thô của cấp phối bê tông tro bay chưa được tiến hành. Do đó, trong nghiên cứu này, hỗn hợp nghiền ceramic được sử dụng thay thế cốt liệu đá hạt thô với tỉ lệ cao (40% thể tích) trong hỗn hợp bê tông tro bay. Trong đó hàm lượng thay thế xi măng bằng tro bay cũng có tỉ lệ cao (40% khối lượng) đã được tiến hành thực nghiệm. Cường độ, mô đun đàn hồi, mức độ hydrat hóa và phản ứng pozzolanic của bê tông sử dụng tro bay và cốt liệu ceramic đã được tiến hành thực nghiệm để đánh giá ảnh hưởng của cốt liệu ceramic hoạt động như một tác nhân dưỡng hộ bên trong bê tông.

**Bảng 1. Các thành phần trong xi măng và tro bay**

Thành phần (%)	Xi măng	Bụi tro bay
SiO <sub>2</sub>	20,19	56,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,81	26,53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,05	5,34
CaO	64,87	1,15
Lượng hạt khi nung (%)	1,19	2,8
Dung trọng (g/m <sup>3</sup> )	3,18	2,30
Diện tích bề mặt (cm <sup>2</sup> /g)	3380	3290

Loại ceramic được sử dụng trong nghiên cứu là ceramic được nghiền các loại gạch, ngói ceramic phế liệu. Đây là loại vật liệu có độ hấp thụ nước cao (8,7%), trong khi độ hấp thụ nước của đá thông thường khoảng 0,6%-0,9%. Với độ hấp thụ nước cao sau khi ngâm bão hòa nước, ceramic phù hợp để sử dụng làm vật liệu trữ nước, duy trì độ ẩm tương đối bên trong bê tông phục vụ cho quá trình thủy hóa (hydrate hóa) của xi măng, góp phần nâng cao chất lượng của bê tông xi măng.

Hướng nghiên cứu của bài báo, sử dụng hỗn hợp ceramic nghiền có vai trò như vật liệu dưỡng hộ từ bên trong kết cấu bê tông để làm tăng cường độ của bê tông thông thường và bê tông sử dụng tro bay, đã giới thiệu

đến độc giả đặc biệt là các kỹ sư, các giảng viên và sinh viên ngành xây dựng một góc nhìn mới mẻ và độc đáo về phương pháp dưỡng hộ bê tông: Dưỡng hộ từ bên trong. Đây là một phương pháp dưỡng hộ mới trên thế giới nhưng khá phù hợp với điều kiện xây dựng ở Việt Nam xét trên khía cạnh kinh tế - kỹ thuật và xu hướng phát triển nền kinh tế tuần hoàn, cũng như góp phần bảo vệ môi trường khi có thể tận dụng nguồn ceramic phế liệu xây dựng sinh hoạt cũng như phế phẩm từ các nhà máy sản xuất gạch ngói, vật liệu gốm sứ, thiết bị vệ sinh,... được tái sử dụng trong ngành công nghiệp bê tông xây dựng.

## 2. Thí nghiệm

### 2.1. Vật liệu

Thành phần hóa học của xi măng và tro bay được giới thiệu trong Bảng 1. Cốt liệu đá nghiền được sử dụng làm cốt liệu hạt mịn và hạt thô thông thường. Hỗn hợp nghiền ceramic được sử dụng như vật liệu dưỡng hộ bên trong bê tông. Dung trọng của cốt liệu đá hạt mịn, hạt thô và ceramic nghiền ở trạng thái bão hòa nước lần lượt là 2,60g/cm<sup>3</sup>; 2,62g/cm<sup>3</sup>; 2,26g/cm<sup>3</sup>. Kích cỡ hạt của ceramic nghiền thay đổi từ 5mm đến 13mm, cỡ hạt của cốt liệu đá hạt thô có đường kính thay đổi từ 5mm đến 20mm. Tỉ lệ nước hấp phụ của cốt liệu đá và ceramic nghiền lần lượt là 0,62% và 8,7%. Ceramic nghiền được ngâm bão hòa nước máy trong 7 ngày và được sử dụng để đúc mẫu khi đạt trạng thái khô bão hòa bề mặt.

### 2.2. Cấp phối bê tông

**Bảng 2. Cấp phối bê tông**

Tên hỗn hợp	Vật liệu dùng cho 1m <sup>3</sup> bê tông (kg)						Độ sụt (cm)
	X	N	Fa	C	Đ	CW	
Fa0-CW0	550	165	0	751	854	0	20
Fa0-CW40	550	165	0	751	512	295	21
Fa40-CW0	330	165	220	751	854	0	21
Fa40-CW40	330	165	220	751	512	295	18

X: Xi măng, N: Nước, Fa: Bụi tro bay, C: Cốt liệu mịn, Đ: cốt liệu thô, CW: Ceramic nghiền.

Theo Bảng 2, các cấp phối bê tông được thiết kế với lượng nước (N) là 165kg/m<sup>3</sup>, và tỉ lệ nước/xi măng (N/X) là 0,30. % thay thế của cốt liệu đá hạt thô bằng ceramic nghiền là 40% theo thể tích. % khối lượng thay thế xi

măng bằng tro bay là 40% theo khối lượng. Ký hiệu của các hỗn hợp bê tông xi măng được là Fa0-CW0, Fa0-CW40, Fa40-CW40, Fa40-CW40. Con số đứng sau Fa và CW thể hiện % thay thế của xi măng bằng tro bay (Fa0: 0%; Fa40: 40%) và % thay thế của cốt liệu đá hạt thô bằng ceramic nghiền (CW0: 0%; CW40: 40%). Bê tông tham chiếu là bê tông là các hỗn hợp bê tông chứa hàm lượng tro bay là 0% (Fa0-CW0, Fa0-CW40).

**2.3. Thí nghiệm và phương pháp tiến hành**

**(1) Hàm lượng Portlandite Ca(OH)<sub>2</sub>**

Phương pháp TG-DTA kết hợp với hóa học được sử dụng để tính toán hàm lượng Ca(OH)<sub>2</sub> trong các cấp phối bê tông. Mẫu bê tông sau khi được làm khô trong nồi hút chân không sau 24h được nghiền thành bột đường kính 150µm trước khi tiến hành thí nghiệm xác định hàm lượng. Hòa tan khoảng 1g hỗn hợp bột nghiền bê tông với 250mL dung dịch HCl 0.1M bằng máy khuấy. Đồ toàn bộ hỗn hợp được lọc qua giấy lọc sau đó sấy rồi nung đến khối lượng không đổi ở nhiệt độ 1000°C, tiếp theo đem đi cân. Thành phần xi măng trong mẫu được tính trực tiếp dựa trên tính toán sự thay đổi khối lượng trước và sau thí nghiệm hóa học ở trên.

Hàm lượng xi măng được xác định bằng công thức:

$$\% \text{ Cốt liệu} = \frac{m_r}{m_c} \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ Xi măng} = 100 - \text{Cốt liệu} \quad (2)$$

Trong đó *m<sub>r</sub>*: Khối lượng sau khi nung 1000°C;

*m<sub>c</sub>*: Khối lượng mẫu trước phản ứng hóa học.

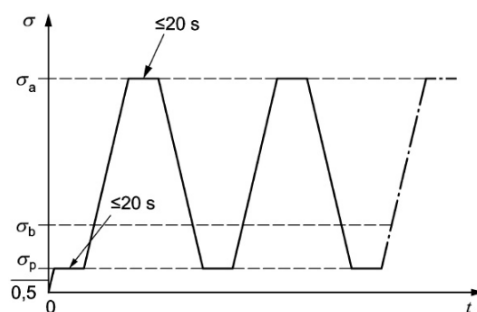
Hàm lượng Ca(OH)<sub>2</sub> được xác định dựa trên tính toán kết hợp kết quả thí nghiệm hóa học và thí nghiệm TG-DTA.

Trong thí nghiệm TG-DTA, mẫu hỗn hợp bột bê tông sau khi nghiền được nung từ nhiệt độ phòng đến nhiệt độ 1000°C với tốc độ gia nhiệt khoảng 10°C/phút. Khối lượng hỗn hợp và nhiệt độ nung được ghi lại trong suốt quá trình nung bằng thiết bị đo chuyên dụng cho thí nghiệm TG-DTA của hãng Shimadzu, Nhật Bản. Lượng Ca(OH)<sub>2</sub> được xác định từ khối lượng hỗn hợp bị giảm đi khi nung trong khoảng nhiệt độ từ 400°C đến 460°C. Đây là khoảng nhiệt độ xảy ra phản ứng nhiệt hóa của Ca(OH)<sub>2</sub>.

**(2) Thí nghiệm nén xác định mô đun đàn hồi và cường độ nén**

Các mẫu bê tông được nén ở các tuổi 7, 28 và 91 ngày để xác định đồng thời cường độ và mô đun đàn hồi theo tiêu chuẩn thí nghiệm TCVN 3118 và tiêu chuẩn TCVN 5726.

Đặt mẫu nén sao cho một mặt chịu nén tiếp xúc với mặt thốt nén. Định tâm mẫu sao cho trục của mẫu trùng với trục của thốt nén.



**Hình 1. Chu kỳ gia tải xác định mô đun đàn hồi đã ổn định**

- Chu kỳ gia tải;
- - - Chu kỳ gia tải để xác định mô đun đàn hồi đã ổn định;
- σ Ứng suất, MPa;
- σ<sub>a</sub> Ứng suất trên *f<sub>c</sub>*/3;
- σ<sub>b</sub> Ứng suất dưới  $0,10 \times f_c \leq \sigma_b \leq 0,15 \times f_c$ ;
- σ<sub>p</sub> Ứng suất đặt trước  $0,5 \text{MPa} \leq \sigma_p \leq \sigma_b$ ;
- t Thời gian, s.

Chu kỳ gia tải xác định mô đun đàn hồi của mẫu bê tông được biểu diễn trên Hình 1.

Tiến hành 3 chu kỳ gia tải với vận tốc gia tải và giảm tải là (0,6 ± 0,2) MPa/s để kiểm tra định vị mẫu và độ ổn định của dụng cụ thiết bị đo, mô đun đàn hồi ổn định được xác định ở chu kỳ 3.

Giá trị biến dạng trung bình lần đo của chu kỳ 1, 2, 3 được tính toán:  $\epsilon_{a,1}$ ;  $\epsilon_{a,2}$ ;  $\epsilon_{a,3}$ .

Biến dạng  $\epsilon_a$  theo mỗi đường xác định ở chu kỳ 2 không được chênh lệch quá 20% giá trị trung bình  $\epsilon_{a,1}$  Biến dạng  $\epsilon_a$  theo mỗi đường xác định ở chu kỳ 2 và 3 không được chênh lệch quá 10%.

Công thức xác định mô đun đàn hồi đã ổn định được tính theo công thức:

$$E_{C,S} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_S} = \frac{\sigma_a^m - \sigma_p^m}{\epsilon_{a,3} - \epsilon_{p,3}} \quad (3)$$

Trong đó:

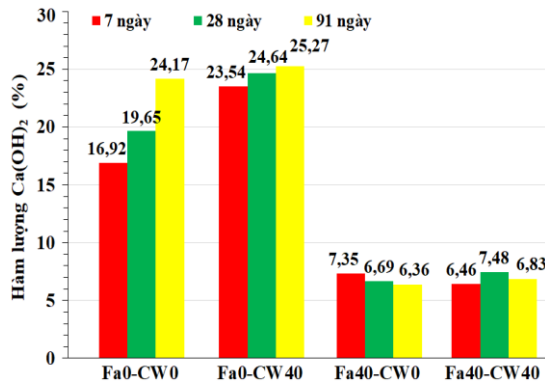
$\epsilon_{a,3}$  là biến dạng trung bình ở mức ứng suất trên tại chu kỳ gia tải thứ 3 (mm/m);

$\epsilon_{p,2}$  là biến dạng trung bình ở mức ứng suất đặt trước chu kỳ gia tải thứ 2 (mm/m);

$\sigma_a^m$  là ứng suất trên đo được (MPa);

$\sigma_p^m$  là ứng suất đặt trước đo được (MPa).

Sau khi hoàn thành các phép đo ở giai đoạn duy trì ứng suất trên, tăng tải liên tục với vận tốc không đổi 0,6 ± 0,2 (MPa/s) cho tới khi viên mẫu bị phá hủy để xác định cường độ nén. Thời gian gia tải mẫu cho đến khi phá hủy không nhỏ hơn 30s.



Hình 2. Hàm lượng % Portlandite (Ca(OH)<sub>2</sub>)

Cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi của mỗi cấp phối bê tông được tính bằng trung bình cộng cường độ 3 mẫu trong tổ hợp mẫu nếu giá trị lớn nhất và nhỏ nhất trong 3 giá trị cường độ mẫu không lệch quá 15% so với giá trị cường độ mẫu còn lại.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Hàm lượng portlandite (Ca(OH)<sub>2</sub>)

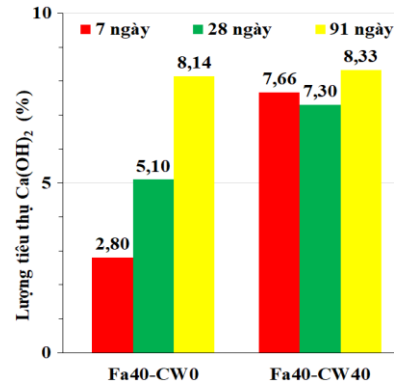
Hình 2 biểu diễn kết quả hàm lượng Ca(OH)<sub>2</sub> của mẫu bê tông ở 7, 28 và 91 ngày tuổi. Kết quả cho thấy bê tông chứa tro bay có hàm lượng portlandite thấp hơn so với bê tông không chứa tro bay (Fa0-CW0, Fa0-CW40). Như chúng ta đã biết, trong bê tông chứa tro bay, Ca(OH)<sub>2</sub> được tạo ra do quá trình hydrat hóa của xi măng, sau đó cũng chính Ca(OH)<sub>2</sub> này tham gia phản ứng pozzolanic với tro bay để tạo ra thêm C-S-H đồng thời dẫn đến sự giảm hàm lượng của nó trong thành phần hỗn hợp bê tông [12]; Chính nhờ sản sinh ra thêm C-S-H góp phần làm tăng độ đặc chắc (tăng cường độ) của kết cấu bê tông xi măng như sau:

- Quá trình hydrat hóa của xi măng:  

$$\text{Xi măng} + \text{Nước} \rightarrow \text{C-S-H} + \text{Ca(OH)}_2$$
- Quá trình Pozzolanic:  

$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Tro bay} + \text{Nước} \rightarrow \text{C-S-H}$$

Hàm lượng Portlandite trong bê tông tham chiếu (bê tông không chứa tro bay) tăng theo tuổi của bê tông do phản ứng hydrat hóa xi măng tạo ra. Trong khi đó hàm lượng Portlandite trong bê tông chứa tro bay (Fa40-CW0, Fa40-CW40) giảm theo thời gian sau 7 ngày và 91 ngày tuổi, ngoại trừ hàm lượng Portlandite trong bê tông chứa hỗn hợp nghiền ceramic Fa40-CW40 ở tuổi 28 ngày. Điều này có thể được giải thích bởi sự tăng cường phản ứng thủy hóa xi măng do ảnh hưởng vật liệu dưỡng hộ từ bên trong kết cấu bê tông là hỗn hợp ceramic nghiền.



Hình 3. Lượng tiêu thụ Portlandite (Ca(OH)<sub>2</sub>) gây ra bởi phản ứng pozzolanic trong bê tông chứa tro bay

#### 3.2. Mức độ tiêu thụ Ca(OH)<sub>2</sub> do quá trình Pozzolanic

Mức độ tiêu thụ Ca(OH)<sub>2</sub> gây ra bởi quá trình pozzolanic của tro bay trong bê tông được xác định theo phương trình (4):

$$CH_{it} = CH_{\text{Fa0-CW0 (hoặc Fa0-CW40)}} \times \left( \frac{X}{X+F} \right) - CH_{\text{Fa40-CW0 (hoặc Fa40-CW40)}} \quad (4)$$

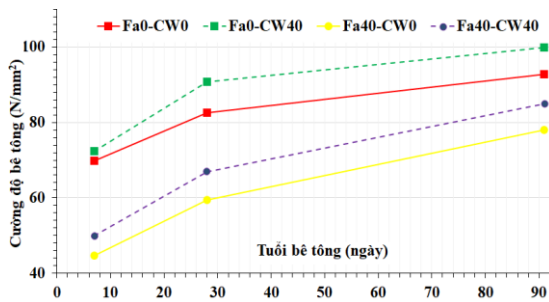
Trong đó:  $CH_{it}$ : Lượng tiêu thụ (%) của Ca(OH)<sub>2</sub> bởi phản ứng Pozzolanic.

$CH_{\text{Fa0-CW0 (hoặc Fa0-CW40)}}$ : Hàm lượng (%) Ca(OH)<sub>2</sub> trong hỗn hợp bê tông Fa0-CW0 (hoặc Fa0-CW40).

Tỉ số  $X/(X+F) = 0,6$  là tỉ lệ của xi măng (X) và chất liên kết (bao gồm tổng xi măng (X) và tro bay (F)). Hình 3 biểu diễn lượng tiêu thụ Ca(OH)<sub>2</sub>. Hình 3 cho thấy lượng tiêu thụ Ca(OH)<sub>2</sub> do quá trình pozzolanic của tro bay tăng theo thời gian sau 7 và 91 ngày tuổi ngoại trừ hỗn hợp bê tông sử dụng hỗn hợp ceramic nghiền (Fa40-CW40) ở tuổi 28 ngày. Tuy nhiên lượng tiêu thụ Ca(OH)<sub>2</sub> gây ra bởi quá trình pozzolanic của tro bay trong bê tông sử dụng hỗn hợp ceramic nghiền luôn cao hơn lượng tiêu thụ Ca(OH)<sub>2</sub> trong bê tông không chứa ceramic ở mọi độ tuổi bê tông. Lượng tiêu thụ Ca(OH)<sub>2</sub> trong hỗn hợp bê tông Fa40-CW40 tăng đáng kể sau 7 ngày tuổi so với Fa40-CW0 đã cho thấy rằng việc sử dụng vật liệu ceramic như chất dưỡng hộ từ bên trong bê tông đã làm tăng cường độ phản ứng pozzolanic sau 7, 28 và 91 ngày tuổi. Chính điều này đã làm tăng lượng tiêu thụ Ca(OH)<sub>2</sub> góp phần tăng thêm cường độ của bê tông.

#### 3.3. Ảnh hưởng của hỗn hợp nghiền ceramic đối với cường độ của bê tông

Hình 4 biểu diễn cường độ của các hỗn hợp bê tông. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng các cấp phối bê tông sử dụng ceramic nghiền thay thế cốt liệu hạt thô (Fa0-CW40 và Fa40-CW40) có cường độ bê tông



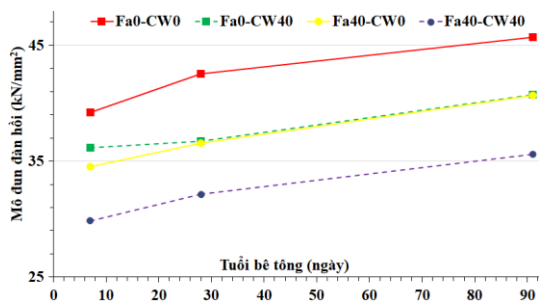
Hình 4. Sự phát triển cường độ của bê tông ở các ngày tuổi: 7, 28 và 91

cao hơn các cấp phối bê tông không sử dụng ceramic (Fa0-CW0 và Fa40-CW0) ở mọi độ tuổi bê tông.

Căn cứ vào kết quả về hàm lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  trong các mẫu bê tông thường có sử dụng hỗn hợp ceramic nghiền (Fa0-CW40) có hàm lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  cao hơn so với mẫu bê tông không chứa ceramic (Fa0-CW0) ở mọi độ tuổi bê tông cho thấy mức độ hydrat hóa cao trong bê tông chứa ceramic, tạo ra thêm nhiều CSH, làm tăng cường độ của bê tông. Do vậy, cường độ của bê tông (Fa0-CW40) luôn cao hơn bê tông (Fa0-CW0) ở mọi độ tuổi bê tông.

Trong khi đó hàm lượng và mức độ tiêu thụ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ở bê tông có chứa tro bay cho thấy, các mẫu bê tông sử dụng ceramic (Fa40-CW40) có hàm lượng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  thấp hơn và mức độ tiêu thụ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  cao hơn so với bê tông tro bay không sử dụng ceramic (Fa40-CW0). Như vậy, phản ứng pozzolanic ở trong bê tông tro bay có chứa ceramic xảy ra mạnh mẽ hơn bê tông tro bay không chứa ceramic; dẫn đến việc tạo ra thêm nhiều CSH và làm tăng cường độ nén của bê tông. Điều đó lý giải tại sao cường độ nén của bê tông Fa40-CW40 luôn cao hơn cường độ nén của bê tông Fa40-CW0.

Như vậy kết quả thí nghiệm nén cho thấy, việc sử dụng vật liệu ceramic thay thế cốt liệu hạt thô đóng vai trò như vật liệu dưỡng hộ từ bên trong bê tông đóng góp tích cực làm tăng cường độ bê tông ở mức tăng 5%-10% đối với bê tông không sử dụng tro bay, và tăng 8%-16% đối với bê tông sử dụng tro bay. Kết quả này cũng tương đồng với các kết quả đã được công bố. Sato và các cộng sự [8] đã báo cáo rằng việc sử dụng ngói nghiền thay thế 10% và 20% cốt liệu thô góp phần nâng cao cường độ bê tông sử dụng xỉ lò cao với tỉ lệ N/X là 0,55 ở 28 ngày tuổi. Trong kết quả của nghiên cứu, sự tăng cường độ của bê tông sử dụng ceramic thay thế cho 40% cốt liệu hạt thô cũng đã được công bố. Ở 28 ngày tuổi cường độ bê tông sử dụng vật liệu ceramic cao hơn 12-14% so với cường



Hình 5. Mô đun đàn hồi của bê tông ở các ngày tuổi: 7, 28 và 91

độ của bê tông thường không chứa ceramic và cao hơn khoảng 16% so với bê tông tro bay không chứa ceramic. Như vậy việc sử dụng vật liệu ceramic thay thế 40% cốt liệu thô đã góp phần thúc đẩy sự phát triển cường độ của bê tông.

### 3.4 Ảnh hưởng của hỗn hợp nghiền ceramic đối với mô đun đàn hồi của bê tông

Hình 5 biểu diễn mô đun đàn hồi của các hỗn hợp bê tông ở các ngày tuổi. Số liệu cho thấy bê tông có sử dụng tro bay có mô đun đàn hồi thấp hơn so với mô đun đàn hồi của bê tông không sử dụng tro bay. Điều này cũng đồng thuận với các nghiên cứu đã được công bố trước đó [9]. Bê tông sử dụng tro bay kết hợp với vật liệu ceramic (Fa0-CW40 và Fa40-CW40) có mô đun đàn hồi giảm so với hỗn hợp bê tông không sử dụng ceramic ở các độ tuổi của bê tông. Kết quả thí nghiệm cũng cho thấy việc sử dụng hàm lượng ceramic làm giảm 8%-10% đối với bê tông không sử dụng tro bay và giảm 10%-14% mô đun đàn hồi của bê tông sử dụng tro bay. Hiện tượng này được giải thích bởi lý do vật liệu ceramic thay thế cốt liệu thô có mô đun đàn hồi thấp hơn so với cốt liệu hạt thô. Suzuki và cộng sự [12] đã giải thích rằng bề mặt tiếp xúc lớn hơn của ngói nghiền so với cốt liệu thô làm tăng thể tích vùng chuyển tiếp bề mặt tiếp xúc - interfacial transition zone (ITZ) của bê tông được dưỡng hộ bên trong bằng ngói nghiền do đó ảnh hưởng đến mô đun đàn hồi của bê tông. Với kết quả nghiên cứu này có thể nói rằng, dù vật liệu ceramic làm tăng thể tích khu vực ITZ, ảnh hưởng của vật liệu dưỡng hộ từ bên trong làm thúc đẩy quá trình hydrat hóa diễn ra tốc độ nhanh hơn có thể gây ra sự giảm mô đun đàn hồi của bê tông.

## 4. Kết luận

Nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu dưỡng hộ bên trong bê tông bằng cách sử dụng hỗn hợp ceramic nghiền thay thế cho 40% cốt liệu thô đã được tiến hành và một số kết luận được tổng hợp như sau:

1. Việc sử dụng hỗn hợp ceramic nghiền trong bê tông có vai trò như vật liệu dưỡng hộ từ bên trong giúp làm tăng cường độ của bê tông thường (không chứa tro bay) từ 4%-8% và 8%-16% đối với bê tông dùng tro bay thay thế 40% xi măng theo khối lượng.

2. Việc sử dụng hỗn hợp ceramic nghiền trong thành phần cấp phối làm giảm mô đun đàn hồi từ 8%-10% đối với bê tông không sử dụng tro bay và từ 10%-14% đối với bê tông có chứa tro bay thay thế 40% xi măng theo khối lượng. Vấn đề này cần được lưu ý trong tính toán thiết kế để bổ sung và bố trí cốt thép cho phù hợp với yêu cầu chịu tải của công trình.

3. Việc tăng lượng Portlandite  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  trong thành phần bê tông thường (không chứa tro bay) đã chứng tỏ việc sử dụng hỗn hợp ceramic với vai trò là vật liệu dưỡng hộ bên trong bê tông đã thúc đẩy quá trình hydrat hóa xi măng góp phần nâng cao cường độ bê tông.

4. Việc sử dụng ceramic làm vật liệu dưỡng hộ bên trong bê tông làm thúc đẩy quá trình pozzolanic trong bê tông có sử dụng tro bay góp phần nâng cao cường độ bê tông.

5. Các kết quả thí nghiệm cho thấy việc sử dụng hỗn hợp nghiền ceramic thay thế cho cốt liệu đá hạt thô đã làm rất tốt vai trò dưỡng hộ bê tông từ bên trong, và có thể kết hợp với tro bay góp phần nâng cao chất lượng của bê tông.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT23-24.82**.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] K. Celik, C. Meral, M. Mancio, P.K. Mehta, P.J. Monteiro (2014), *A comparative study of self-consolidating concretes incorporating high-volume natural pozzolan or high-volume fly ash*, Constr. Build. Mater. Vol. 67, pp.14-19.

[2] Kumar B, Tike GK, Nanda PK (2007), *Evaluation of properties of high-volume fly-ash concrete for pavements*, J Mater Civil Eng ASCE 19(Vol.10), pp.906-911.

[3] Duy Dung Khuat, Shota Yamanaka, May Huu Nguyen, Kenichiro Nakarai (2024), *Combined effect of internal curing and hydration promotion on concrete performances: Contributions of roof-tile waste aggregate and chloride based accelerator*, Constr. Build. Mater. Vol.411.

[4] Gemma RS, Arlindo FG (2014), *Effects of fine LWA and SAP as internal water curing agents*. Concr Struct Mater, Vol. 8(3), pp.229-238.

[5] Maruyama 1, Sato R (2005), *A trial of reducing autogenous shrinkage by recycled aggregate*. In: Proceedings of the 4th international research seminar on self-desiccation and its importance in concrete technology, USA, pp.264-270.

[6] Lura P, Jensen OM, Igarashi SI (2007), *Experimental observation of internal water curing of concrete*. Mater Struct Vol. 40, pp.211-220.

[7] Bentz D, Weiss J (2011), *Internal curing: a 2010 state-of-the-art-review*. Report no 7765, National Institute of Standards and Technology Internal Report (NISTIR), Gaithersburg, MD.

[8] Seiki S, Nukushina T, Meddah MS, Sato R (2010), *Effectiveness of porous ceramic waste as an internal curing material for fly ash concrete*. In: Proceedings of second international conference on sustainable construction materials and technologies, Ancona, Italy, pp.801-811.

[9] X. Ma, J. Liu, C. Shi (2019), *A review on the use of LWA as an internal curing agent of high performance cement-based materials*, Constr. Build. Mater, Vol. 218, pp.385-393.

[10] A Alsaif (2021), *Utilization of ceramic waste as partially cement substitute-A review*, Concr Struct Mater, Vol.300, 124009.

[11] Lilesh G, Jinendra K.J, Pawan K, Sumit C (2021), *A review on the utilization of ceramic waste in sustainable construction products*, Materials Today: Proceeding, Vol.43, Part 2, pp.1884-1891.

[12] Suzuki M, Meddah MS, Sato R, Kawabata T (2010), *Use of porous ceramic waste aggregate for internal curing of high performance concrete*, Cem. and Conc Research. Vol.39 (5), pp.373-381.

Ngày nhận bài:	14/01/2024
Ngày nhận bản sửa lần 01:	23/01/2024
Ngày nhận bản sửa lần 02:	22/02/2024
Ngày duyệt đăng:	29/02/2024