

# Cường độ chịu nén và độ hút nước của bê tông chứa cốt liệu tái chế được xử lý bằng huyền phù xi măng portland – tro bay – natri sunfat

Nguyễn Cao Hoàng Long<sup>1,2</sup>, Bùi Phương Trinh<sup>1,2\*</sup>, Hoàng Trung Long<sup>1,2</sup>, Trương Tùng Vương<sup>1,2</sup>, Nguyễn Ngọc Thành<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Bộ môn Vật liệu Xây dựng, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM

<sup>2</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

## TỪ KHOÁ

Chất hoạt hóa  
Cốt liệu bê tông tái chế  
Cường độ chịu nén  
Độ hút nước  
Tro bay

## TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung khảo sát cường độ chịu nén và độ hút nước của bê tông chứa cốt liệu bê tông tái chế (RCA) được xử lý bằng huyền phù xi măng Portland – tro bay – natri sunfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), nhằm làm giảm việc khai thác đá thiên nhiên và tăng cường việc tận dụng nguồn chất thải rắn xây dựng, hướng đến nền công nghiệp bê tông bền vững. Hàm lượng RCA thay thế đá dăm ở 25% và 50% theo thể tích cốt liệu lớn. Kết quả cho thấy, bê tông sử dụng 25% và 50% RCA được xử lý bằng huyền phù xi măng – tro bay –  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  trong 24 giờ (25TR24N và 50TR24N) có cường độ chịu nén được cải thiện hơn 9,8% và 12,9% khi so với bê tông sử dụng RCA không xử lý (25UR và 50UR); và chúng lần lượt đạt 92–96% so với bê tông đối chứng sử dụng 100% đá dăm (OR). Độ hút nước của bê tông chứa RCA được xử lý giảm 44,4–51,9% so với bê tông sử dụng RCA không xử lý và tăng 2,8–34,0% so với bê tông đối chứng sử dụng 100% đá dăm.

## KEYWORDS

Activator  
Recycled concrete aggregate  
Compressive strength  
Water absorption  
Fly ash

## ABSTRACT

The present study focuses on investigating compressive strength and water absorption of concrete containing recycled concrete aggregate (RCA) treated with a slurry of Portland cement – fly ash – sodium sulfate ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), to eliminate the exploitation of natural crushed stone and to promote the utilization of construction waste, towards the sustainable concrete industry. The crushed stone was replaced with RCA at levels of 25% and 50% by volume of coarse aggregates. The results showed that the concretes with 25% and 50% replacements with treated RCA by cement – fly ash –  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  slurry (25TR24N and 50TR24N) showed the improved compressive strength by 9.8% and 12.9% than the concrete with untreated RCA (25UR and 50UR), respectively, and they reached 92–96% compared to the control concrete with 100% crushed stone (OR). The water absorption of concrete with treated RCA was reduced by 44.4–51.9% compared to the concrete with untreated RCA and increased by 2.8–34.0% compared to the control concrete with 100% crushed stone.

## 1. Giới thiệu

Xây dựng đang được xem là một trong những lĩnh vực có tác động bất lợi đến môi trường, cụ thể như việc xây dựng và phát triển cơ sở hạ tầng, hay quá trình nâng cấp cải tạo, sửa chữa và thay thế các công trình cũ bằng những công trình mới đều tạo ra một lượng lớn chất thải chiếm diện tích đất và gây ảnh hưởng đến sức khỏe và đời sống của con người [1]. Trong khi đó, Việt Nam hiện tại vẫn chưa có phương pháp quản lý các loại chất thải xây dựng một cách thích hợp. Mặt khác, sự tiến bộ của nền kinh tế thúc đẩy sự tiến bộ của

khoa học kỹ thuật, trong đó có sự tiến bộ về công nghệ sản xuất bê tông và bê tông cốt thép [2]. Tuy nhiên, việc thực hiện vấn đề này hiện đang bị cản trở bởi tình trạng khan hiếm nguồn tài nguyên khoáng sản và năng lượng, cũng như các yêu cầu bảo vệ môi trường và đời sống của con người [3]. Do đó, việc sử dụng toàn diện các nguồn nguyên vật liệu từ chất thải của các ngành liên quan vào trong ngành xây dựng mang tính cấp bách và cần thiết [4].

Việc tái sử dụng và tái chế bê tông phế thải từ xây dựng có thể là một chiến lược thành công để đạt được tính bền vững. Bê tông phế thải thường được thu gom, nghiền và sử dụng để thay thế cốt liệu tự

\*Liên hệ tác giả: buiphuongtrinh@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 14/11/2023, sửa xong ngày 30/11/2023, chấp nhận đăng ngày 15/01/2024

Link DOI: 10.54772/jomc.01.2024.554

nhiên trong bê tông [5]. Do nhược điểm về độ rỗng và xốp trong cấu trúc của cốt liệu bê tông tái chế (RCA) nên chất lượng của bê tông sử dụng RCA thấp [6]. Để đảm bảo cường độ theo yêu cầu, Etxeberria et al. [7] đã đề xuất sử dụng lượng xi măng lớn hơn để sản xuất bê tông chứa RCA. Rahal [8] đã tìm thấy rằng cường độ chịu nén của bê tông chứa RCA đạt 90 % so với bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên; trong khi đó, mô đun đàn hồi của bê tông chứa RCA thấp hơn 3 % so với bê tông thông thường. Xu hướng phát triển cường độ chịu nén của bê tông chứa RCA tương đương so với bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên.

Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu tập trung đến việc cải thiện các đặc tính kỹ thuật của RCA nhằm tăng cường sử dụng RCA trong bê tông, cụ thể như (1) phương pháp loại bỏ vữa cũ bằng cách ngâm RCA trong dung dịch axit; tuy nhiên, điều này làm giảm độ pH trong bê tông và gây ra ăn mòn điện hóa cốt thép trong kết cấu bê tông [9]; (2) phương pháp cacbonat hóa, tức dưỡng hộ RCA trong môi trường có nồng độ CO<sub>2</sub> cao; tuy nhiên, phương pháp này tốn nhiều thời gian và đòi hỏi chi phí cao cho thiết bị [10]; (3) phương pháp xử lý RCA trong huyền phù chứa các vật liệu pozzolaníc (như tro bay, silica fume và nano-silica fume) [6]. Nhìn chung, việc sử dụng tro bay ứng dụng chế tạo vật liệu xây dựng cho chi phí thấp hơn so với các loại vật liệu pozzolaníc khác (silica fume hay thủy tinh lỏng) [11]. Tuy nhiên, phản ứng pozzolaníc của tro bay trong hệ nền xi măng xảy ra rất chậm ở thời gian đầu [12]. Do đó, việc sử dụng chất hoạt hóa (như Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) đã được kiến nghị nhằm giúp thúc đẩy tốc độ phản ứng và tăng cường độ của hệ nền xi măng chứa tro bay [13].

Từ những thực trạng hiện nay và tiềm năng phát triển trong việc ứng dụng RCA trong tương lai, nghiên cứu này tập trung khảo sát

cường độ chịu nén và độ hút nước của bê tông chứa RCA được xử lý bằng huyền phù xi măng – tro bay – natri sunfat. Kết quả nghiên cứu có thể là một trong những giải pháp trong việc xử lý lượng phế thải xây dựng một cách hiệu quả hơn, mang tính ứng dụng cao hơn, tạo ra loại vật liệu xây dựng mới có chất lượng và bền vững.

## 2. Vật liệu

### 2.1. Vật liệu cho huyền phù

Xi măng (X) được sử dụng trong nghiên cứu là xi măng Portland (loại I) được cung cấp bởi Công ty Nghi Sơn có các chỉ tiêu cơ lý phù hợp với TCVN 2682:2020 [14], xem Bảng 1 và thành phần hóa của xi măng được thể hiện ở Bảng 2. Tro bay được sử dụng trong nghiên cứu là tro bay loại F và được lấy từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải, có chỉ tiêu cơ lý và thành phần hóa được thể hiện ở Bảng 1 và Bảng 2, phù hợp TCVN 10302:2014 [15].

**Bảng 1.** Chỉ tiêu cơ lý của xi măng và tro bay.

Chỉ tiêu	Xi măng	Tro bay
Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	3,10	2,25
Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi (MPa)	58,3	-
Độ hoạt tính (%)	-	98,2
Lượng sót trên sàng 0,09 mm (%)	0,3	-
Lượng sót trên sàng 0,045 mm (%)	-	16,8

-: không thí nghiệm

**Bảng 2.** Thành phần hóa (%) của xi măng Nghi Sơn PC40 và tro bay.

Thành phần hóa (%)	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	MgO	SO <sub>3</sub>	MKN
Xi măng	23,8	4,3	2,5	62,6	0,1	0,7	1,5	2,4	1,56
Tro bay	56,4	8,1	24,9	2,0	0,8	0,4	5,2	0,5	7,0

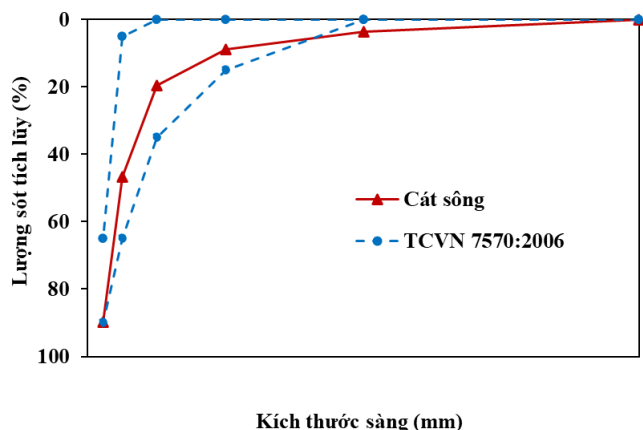
MKN: Mất khi nung

### 2.2. Vật liệu cho bê tông

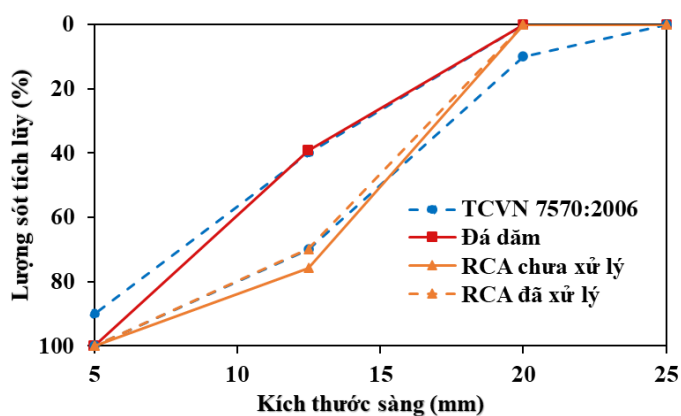
Xi măng sử dụng cho bê tông tương tự xi măng sử dụng cho huyền phù. Các tính chất cơ lý và thành phần hóa được thể hiện ở Bảng 1 và Bảng 2.

Cát sông thiên nhiên (C) được sử dụng như cốt liệu nhỏ có thành phần hạt được thể hiện ở Hình 1. Từ Hình 1, nhận thấy thành phần hạt của cát sông (ngoại trừ cỡ hạt 2,5 mm) nằm trong vùng phạm vi cho phép của cát cỡ hạt mịn theo TCVN 7570:2006 [16] với mô đun độ lớn (Mdl) là 1,69. Bên cạnh đó, đá dăm (Đ) được sử dụng trong nghiên cứu có kích thước hạt D<sub>max</sub> = 20 mm và D<sub>min</sub> = 5 mm. Thành phần hạt của đá được thể hiện ở Hình 2 và kết quả chỉ ra

rằng thành phần hạt của đá dăm nằm trong phạm vi cho phép theo TCVN 7570:2006 [16]. Trong khi đó, RCA được lấy từ bê tông phế phẩm của phòng thí nghiệm với cường độ chịu nén thiết kế 30 MPa. Sau đó, RCA được đập nhỏ và rây sàng để thu được cỡ hạt với kích thước từ 5 – 20 mm và rửa sạch để loại bỏ các tạp chất. Thành phần hạt của RCA không nằm trong vùng phạm vi cho phép theo TCVN 7570:2006 [16], xem Hình 2. Bảng 3 thể hiện các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu gồm cát, đá dăm và RCA chưa xử lý. Ngoài ra, nước (N) được dùng để trộn bê tông trong nghiên cứu phù hợp với TCVN 4506:2012 [17].



Hình 1. Thành phần hạt của cát sông.



Hình 2. Thành phần hạt của đá dăm, RCA chưa xử lý và RCA đã xử lý.

Bảng 3. Các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu.

Chỉ tiêu	Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	Độ hút nước (%)	Độ nén đập (%)
Cát sông	2,66	-	-
Đá dăm	2,71	0,72	5,84
RCA chưa xử lý	2,33	3,40	11,03
RCA đã xử lý	2,43	1,53	8,37

-: không thí nghiệm

### 3. Phương pháp thí nghiệm

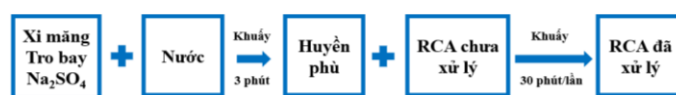
#### 3.1. Quy trình xử lý RCA

Bảng 4. Cấp phối bê tông có và không có RCA.

Ký hiệu	RCA thay thế (%)	X (kg)	Đ (kg)	RCA (kg)	C (kg)	N (kg)
OR	0	300	958	0	912	207
25UR	25	300	719	206	912	207
50UR	50	300	479	412	912	207
25TR	25	300	719	207	912	207

Hai loại huyền phù sử dụng trong nghiên cứu gồm: (1) huyền phù xi măng – tro bay và (2) huyền phù xi măng – tro bay – Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Tỷ lệ khối lượng giữa xi măng và tro bay là 1:1 với hàm lượng 50 % theo khối lượng RCA được xử lý và hàm lượng Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> là 4 % theo khối lượng của hỗn hợp xi măng và tro bay. Các tỷ lệ này được lựa chọn theo nghiên cứu của Liu et al. [18] và Triết et al. [19].

Quy trình xử lý RCA gồm có năm bước (xem Hình 3), cụ thể: (1) xử lý cỡ hạt RCA trong khoảng từ 5 – 20 mm; (2) rửa sạch, loại bỏ các tạp chất và phơi khô RCA ở nhiệt độ phòng (27 ± 2oC); (3) chuẩn bị các hỗn hợp huyền phù; (4) sau khi khuấy đều trong 3 phút, RCA được cho vào huyền phù và tiếp tục khuấy trong 2 phút (cứ 30 phút khuấy RCA cho đến khi đủ thời gian xử lý); (5) vớt RCA ra khỏi huyền phù sau khi đã đạt thời gian xử lý (tức 24 giờ). Sau đó, các chỉ tiêu cơ lý (Bảng 3) và thành phần hạt (Hình 2) của RCA đã xử lý được kiểm tra tương tự như đá dăm và RCA chưa xử lý.



Hình 3. Quy trình xử lý RCA.

#### 3.2. Thiết kế cấp phối

Bê tông đối chứng (tức sử dụng 100 % đá dăm) được thiết kế theo tiêu chuẩn ACI 211.1-91 [20] và ACI 318-11 [21] với độ sụt thiết kế 12 ± 2 cm phù hợp cho các cấu kiện dầm, cột và vách bê tông cốt thép và cường độ chịu nén ở 28 ngày là 35 MPa. Đối với cả hai trường hợp RCA không xử lý và RCA đã qua xử lý, hàm lượng RCA thay thế cốt liệu đá dăm được khảo sát ở tỷ lệ 25 % và 50 % theo khối lượng thể tích. Các cấp phối bê tông có và không có RCA được thể hiện ở Bảng 4. Ký hiệu các cấp phối trong Bảng 4 bao gồm cấp phối bê tông đối chứng (OR), cấp phối bê tông thay thế 25 % và 50 % RCA không xử lý (25UR và 50UR), cấp phối bê tông thay thế 25 % và 50 % RCA đã qua xử lý bằng huyền phù (xi măng – tro bay) (25TR và 50TR) ngâm trong 24 giờ và cấp phối bê tông thay thế 25 % và 50 % RCA xử lý bằng huyền phù (xi măng – tro bay – Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (25TR24N và 50TR24N) ngâm trong 24 giờ.

50TR	50	300	479	415	912	207
25TR24N	25	300	719	207	912	207
50TR24N	50	300	479	413	912	207

Chú thích: X: Xi măng; Đ: Đá dăm; RCA: Cốt liệu bê tông tái chế; C: Cát sông; N: Nước

3.3. Quy trình nhào trộn, thử độ sụt và đúc mẫu

Quy trình nhào trộn hỗn hợp bê tông theo các bước sau: (1) cho lần lượt cát và xi măng trộn khô trong 30 giây; (2) cho 50 % lượng nước vào hỗn hợp khô và nhào trộn trong 30 giây; (3) tiếp tục cho đá dăm và RCA (chưa xử lý hoặc đã qua xử lý) vào hỗn hợp và trộn trong 30 giây; (4) cho lượng nước còn lại vào hỗn hợp và tiếp tục trộn trong 90 giây. Nhìn chung, quá trình nhào trộn hỗn hợp bê tông không quá 180 giây.

Tiếp theo, độ sụt của hỗn hợp bê tông được xác định theo TCVN 3106:2022 [22]. Sau khi thử độ sụt, tiến hành đổ hỗn hợp bê tông vào các khuôn thép lập phương có kích thước 100x100x100 mm đã được làm sạch và thoa dầu khuôn, để xác định cường độ chịu nén và độ hút nước của bê tông ở các độ tuổi nhất định.

3.4. Quá trình dưỡng hộ

Sau khi nhào trộn hỗn hợp bê tông và đúc vào khuôn, mẫu được dưỡng hộ trong khuôn được phủ khăn ẩm và các tấm nilon trong 20 ± 4 giờ. Sau khi tháo khuôn, mẫu được dưỡng hộ trong bể nước cho đến đủ ngày tuổi thí nghiệm.

3.5. Thí nghiệm cường độ chịu nén và độ hút nước của bê tông

Cường độ chịu nén của bê tông được tiến hành kiểm tra bằng máy nén thủy lực gia tải tự động theo TCVN 3118:2022 [23], cụ thể: cường độ chịu nén của mỗi cấp phối ở các độ tuổi 3, 7 và 28 ngày tuổi là giá trị trung bình của ba mẫu bê tông và được quy đổi về mẫu chuẩn với kích thước 150x150x150 mm.

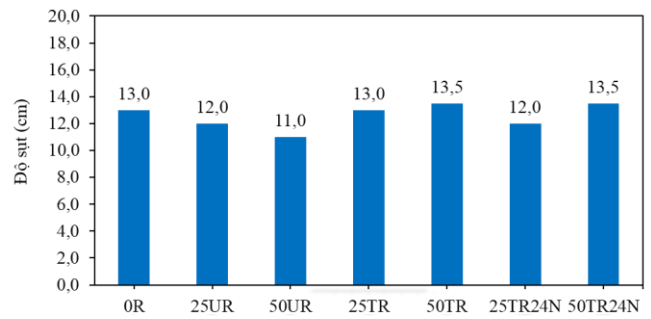
Độ hút nước của bê tông được xác định dựa trên tiêu chuẩn ASTM C642:21 [24], cụ thể: độ hút nước của mỗi cấp phối ở 28 ngày tuổi là giá trị trung bình của ba mẫu bê tông với kích thước 100x100x100 mm.

4. Kết quả nghiên cứu

4.1. Độ sụt của hỗn hợp bê tông có và không có RCA đã xử lý

Hình 4 thể hiện kết quả độ sụt của hỗn hợp bê tông có và không có RCA đã xử lý. Độ sụt của tất cả các cấp phối nằm trong giá trị của độ sụt thiết kế (12 ± 2 cm). Hỗn hợp bê tông sử dụng RCA chưa xử lý (25UR và 50UR) có độ sụt giảm lần lượt 7,69 % và 15,38 % so với

hỗn hợp bê tông không có RCA (OR). Nguyên nhân gây ra giảm độ sụt của hỗn hợp bê tông sử dụng RCA chưa xử lý là do bề mặt thô nhám, góc cạnh của RCA, dẫn đến làm tăng ma sát, làm cản trở chuyển động trượt của các hạt cốt liệu. Tuy nhiên, với hỗn hợp bê tông sử dụng RCA đã xử lý, độ sụt của hỗn hợp có xu hướng tăng nhẹ khi tỷ lệ RCA thay thế tăng khi so với hỗn hợp bê tông sử dụng RCA chưa xử lý. Điều này là do lớp huyền phù sau khi xử lý đã bao bọc xung quanh bề mặt RCA và làm cho bề mặt của RCA trở nên nhẵn hơn, ít sự thô nhám trên bề mặt [25].



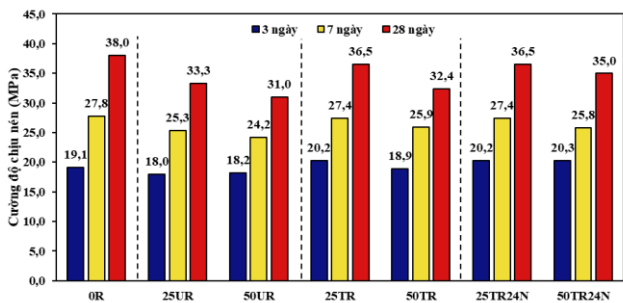
Hình 4. Độ sụt của hỗn hợp bê tông có và không có sử dụng RCA đã xử lý.

4.2. Cường độ chịu nén của bê tông có và không có RCA đã xử lý

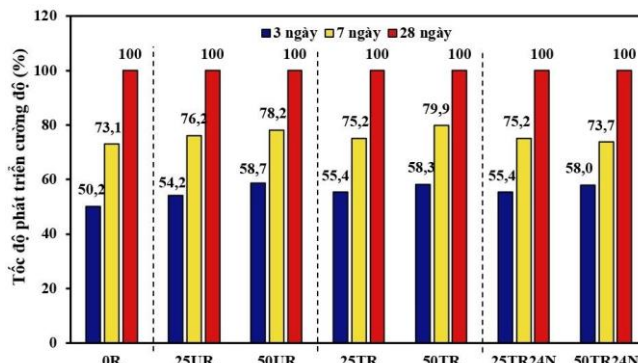
Hình 5 thể hiện đường độ chịu nén của tất cả các mẫu bê tông có và không có sử dụng các loại RCA ở 3, 7 và 28 ngày tuổi. Trong khi đó, Hình 6 thể hiện tỷ lệ cường độ chịu nén ở 3 và 7 ngày tuổi so với 28 ngày tuổi của các mẫu bê tông có và không có sử dụng RCA đã xử lý, và Hình 7 thể hiện tỷ lệ cường độ chịu nén giữa các mẫu bê tông sử dụng RCA so với mẫu bê tông đối chứng ở 3, 7 và 28 ngày tuổi. Nhìn chung, cường độ chịu nén của bê tông phát triển theo thời gian, thấp nhất ở 3 ngày tuổi và cao nhất ở 28 ngày tuổi. Mẫu bê tông sử dụng RCA không xử lý có cường độ chịu nén thấp hơn mẫu bê tông đối chứng (OR) và các mẫu bê tông sử dụng RCA xử lý ở tất cả các ngày tuổi. Điều này là do RCA không xử lý bên trong có nhiều lỗ rỗng và có chứa nhiều vùng ITZ hơn so với đá dăm [6], dẫn đến RCA chưa qua xử lý có độ nén dập cao nhất (11,03 %), xem Bảng 3. Tuy nhiên, đối với RCA sau khi được xử lý, các lỗ rỗng bên trong đã được làm giảm nhờ phản ứng pozzolanic của tro bay và phản ứng tạo ettringite từ huyền phù chứa Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và từ đó, giúp cải thiện hơn cấu trúc của RCA [6]. Điều này sẽ được giải thích chi tiết hơn ở mục 4.3 về độ hút nước của bê tông có và không có RCA đã xử lý.

Ở 3 ngày tuổi, kết quả cho thấy cường độ chịu nén của tất cả các mẫu không có sự chênh lệch đáng kể. Cụ thể, mẫu bê tông 25UR và 50UR có cường độ chịu nén lần lượt là 18,0 MPa và 18,2 MPa, đạt 94,3 % và 95,1 % so với mẫu bê tông 0R (19,1 MPa), xem Hình 5 và 7. Mẫu bê tông 25TR và 50TR có cường độ chịu nén lần lượt là 20,2 MPa và 18,9 MPa, đạt 100,3 % và 98,9 % so với mẫu bê tông 0R, xem Hình 5 và 7. Bên cạnh đó, mẫu bê tông 25TR24N và 50TR24N có cường độ chịu nén lần lượt là 20,2 MPa và 20,3 MPa, cao hơn 122,2 % và 115,4 % so với mẫu 25UR và 50UR và đạt 105,8 % so với mẫu bê tông 0R, xem Hình 7. Ở 7 ngày tuổi, cường độ chịu nén có xu hướng tăng so với cường độ chịu nén ở 3 ngày tuổi. Cường độ chịu nén của mẫu 25TR và 50TR lần lượt cao hơn mẫu 25UR và 50UR nhưng không có nhiều thay đổi so với mẫu 25TR24N và 50TR24N. Tuy nhiên, mẫu 25UR và 50UR có cường độ chịu nén lần lượt là 25,3 MPa và 24,2 MPa, thấp hơn so với mẫu 0R (27,8 MPa), đạt lần lượt 91,1 % và 87,1 % (Hình 5 và 7). Cường độ chịu nén của mẫu 25TR và 50TR là 27,4 MPa và 25,9 MPa, tức đạt 97,8 % và 93,2 % so với mẫu 0R (Hình 5 và 7). Ở 28 ngày tuổi, cường độ chịu nén của mẫu 25UR và 50UR vẫn thấp, đạt 87,4 % và 81,4 % so với mẫu 0R (Hình 7). Mẫu 25TR và 50TR đạt lần lượt 89,0 % và 85,3 % về cường độ chịu nén so với mẫu 0R (Hình 7). Tuy nhiên, mẫu 25TR24N và 50TR24N có cường độ cao hơn so với các mẫu sử dụng RCA khác và đạt lần lượt 96,0 % và 91,9 % so với mẫu 0R.

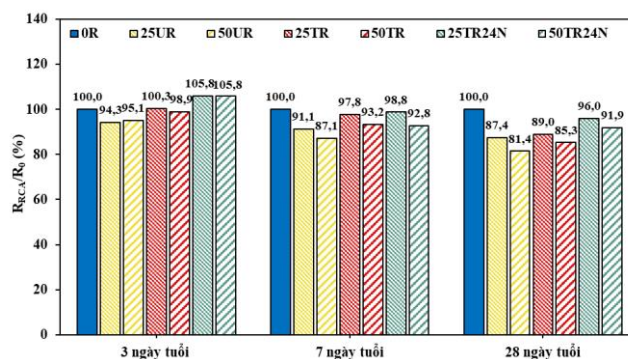
Từ Hình 6, ở 3 ngày tuổi, đối với tất cả các mẫu bê tông sử dụng RCA với tỷ lệ 25 % và 50 %, tốc độ phát triển gần như bằng nhau, đạt trong khoảng 54,2–58,7 % so với 28 ngày tuổi, không phụ thuộc vào việc xử lý RCA bằng huyền phù. Các mẫu bê tông sử dụng RCA có tốc độ phát triển cường độ nhanh hơn so với mẫu 0R ở 3 ngày tuổi (Hình 6). Ở 7 ngày tuổi, tốc độ phát triển cường độ tương đối bằng nhau ở tất cả các mẫu, đạt trong khoảng 73,7–79,9 % so với 28 ngày tuổi, cũng không phụ thuộc vào việc xử lý RCA bằng huyền phù; trong khi đó, mẫu 0R có tốc độ phát triển chậm hơn so với các mẫu bê tông sử dụng RCA, đạt giá trị 73,1 % (Hình 6).



Hình 5. Cường độ chịu nén ở các độ tuổi 3, 7 và 28 ngày của các mẫu bê tông có và không có sử dụng RCA đã xử lý.



Hình 6. Tốc độ phát triển cường độ chịu nén ở 3 và 7 ngày tuổi so với 28 ngày tuổi của các mẫu bê tông có và không có sử dụng RCA đã xử lý.



Hình 7. Tỷ lệ cường độ chịu nén giữa các mẫu bê tông sử dụng RCA so với mẫu bê tông đối chứng ( $R_{RCA}/R_0$ ) ở 3, 7 và 28 ngày tuổi.

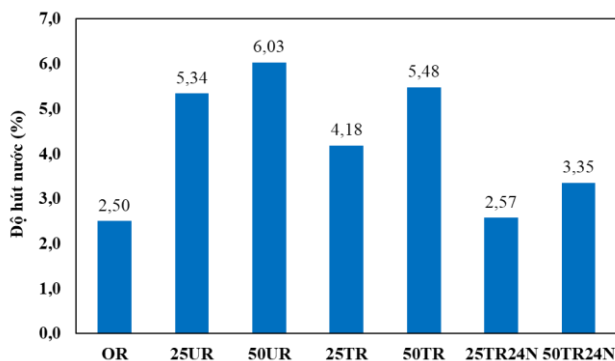
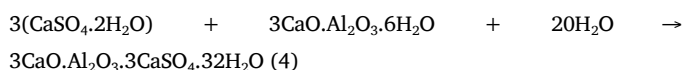
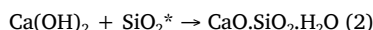
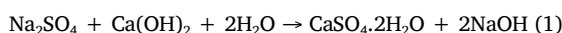
#### 4.3. Độ hút nước của bê tông có và không có RCA đã xử lý

Độ hút nước của bê tông có và không có sử dụng các loại RCA ở 28 ngày tuổi được thể hiện ở Hình 8. Độ hút nước của mẫu bê tông 25UR và 50UR so với mẫu 0R cao hơn lần lượt 113,6 % và 141,2 %. Sau khi RCA được xử lý, độ hút nước của mẫu bê tông chứa RCA đã xử lý (25TR và 50TR) so với mẫu bê tông chứa RCA chưa xử lý (25UR và 50UR) giảm lần lượt là 21,7 % và 9,1 %. Trong khi đó, mẫu bê tông 25TR24N và 50TR24N có độ hút nước giảm mạnh so với mẫu bê tông 25UR và 50UR lần lượt là 51,9 % và 44,4 %; và thấp hơn lần lượt 38,5 % và 38,9 % khi so với mẫu 25TR và 50TR; tuy nhiên, khi so với mẫu 0R, độ hút nước tăng lần lượt là 2,8 % và 34,0 %.

Nhìn chung, độ hút nước của bê tông có mối tương quan với lỗ rỗng bên trong cấu trúc vi mô của bê tông. RCA không xử lý có độ đặc chắc thấp, độ rỗng cao và có chứa vết nứt vi mô; vì thế, nước có thể dễ dàng thâm nhập vào bê tông chứa RCA không xử lý [13]. RCA sau khi được xử lý bằng cách ngâm trong huyền phù (xi măng – tro bay), cấu trúc vi mô của RCA được cải thiện nhờ phản ứng pozzolan của tro bay đã tiêu thụ C – H và tạo ra nhiều C – S – H, giúp lấp đầy lỗ rỗng bên trong RCA; từ đó, làm tăng cường độ của RCA [6]. Bên cạnh



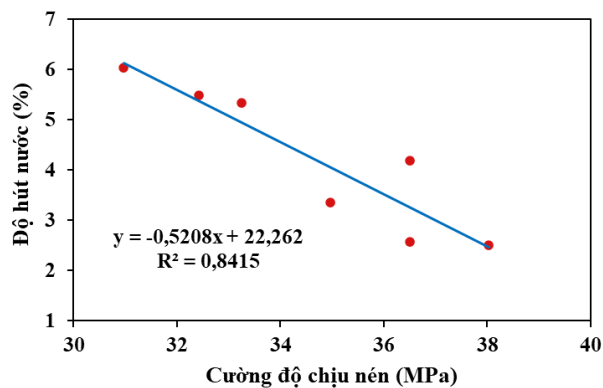
đó, việc sử dụng chất hoạt hóa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  làm thúc đẩy phản ứng pozzolanic của tro bay. Chất hoạt hóa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  phản ứng với sản phẩm hydrat hóa của xi măng làm tăng nồng độ pH trong dung dịch nhờ NaOH được tạo ra theo phương trình (1), giúp đẩy nhanh tốc độ hòa tan của tro bay và tốc độ phản ứng pozzolanic theo phương trình (2) và (3) [27]. Đồng thời,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  được tạo thành ở phương trình (1) tiếp tục phản ứng với khoáng  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  tạo ra ettringite ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) theo phương trình (4). Chất hoạt hóa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  góp phần làm tăng nồng độ  $\text{SO}_4^{2-}$ , giúp hình thành ettringite nhiều hơn, thúc đẩy phát triển cường độ của xi măng – tro bay ở tuổi sớm [26].



Hình 8. Độ hút nước của bê tông có và không có sử dụng RCA đã xử lý.

#### 4.4. Mối tương quan giữa cường độ chịu nén và độ hút nước của bê tông

Hình 9 thể hiện mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và độ hút nước của bê tông. Nhìn chung, cường độ chịu nén và độ hút nước của bê tông có tỷ lệ nghịch với nhau. Dựa vào công thức được thiết lập được ở Hình 9, có thể giúp dự đoán kết quả độ hút nước của bê tông dựa vào kết quả của cường độ chịu nén của bê tông. Từ đó, dựa vào kết quả chịu nén của bê tông có thể suy ra được độ hút nước của bê tông. Cường độ chịu nén của bê tông càng thấp thì độ hút nước càng cao và ngược lại. Điều này có thể được giải thích do độ hút nước và cường độ chịu nén của bê tông bị ảnh hưởng đáng kể bởi lỗ rỗng trong cấu trúc vi mô của bê tông, tức bê tông có lỗ rỗng càng nhiều, dẫn đến cường độ càng thấp và nước từ bên ngoài thâm nhập vào bên trong càng nhiều, kéo theo độ hút nước càng cao [26].



Hình 9. Mối quan hệ giữa độ hút nước và cường độ chịu nén của bê tông.

## 5. Kết luận

Từ những kết quả thực nghiệm, có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Việc sử dụng RCA không xử lý hay đã qua xử lý đều không ảnh hưởng đáng kể đến độ sụt của hỗn hợp bê tông và đạt độ sụt thiết kế ( $12 \pm 2$  cm).
- Bê tông sử dụng RCA được xử lý có cường độ chịu nén cải thiện hơn so với bê tông sử dụng RCA không xử lý.
- Bê tông sử dụng RCA xử lý bằng huyền phù (xi măng – tro bay – 4 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) thay thế 25 % đá dăm cho kết quả cường độ chịu nén tối ưu nhất trong nhóm các bê tông sử dụng RCA và độ hút nước tương đương với bê tông đối chứng sử dụng 100 % đá dăm.
- Độ hút nước và cường độ chịu nén của bê tông có tỷ lệ nghịch với nhau.

Do đó, đề xuất việc thay thế 25 % đá dăm bằng RCA được xử lý bằng huyền phù (xi măng – tro bay – 4 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) trong bê tông nhằm đạt được hiệu quả tốt nhất. Các nghiên cứu liên quan đến ảnh hưởng của các chế độ dưỡng hộ khác (dưỡng hộ bên trong, dưỡng hộ kín, dưỡng hộ nhiệt ẩm) đến tính chất kỹ thuật của bê tông sử dụng RCA được xử lý cần được triển khai sắp tới để có thể tận dụng được lượng lớn phế thải xây dựng vào sản xuất cốt liệu xanh thân thiện với môi trường xây dựng bền vững.

## Lời cảm ơn

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này. Chúng tôi xin gửi lời cảm ơn đến Ông Lâm Quan Bửu Lộc thuộc Công ty xi măng Sài Gòn đã hỗ trợ nguyên vật liệu. Chúng tôi cũng xin chân thành gửi lời cảm ơn đến các bạn sinh viên ngành Công nghệ Kỹ thuật Vật liệu Xây dựng đã cùng thực hiện thí nghiệm này.

**Tài liệu tham khảo**

- [1]. J. C. Morel, A. Mesbah, M. Oggero, and P. Walker, "Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction", *Build. Environ.*, vol. 36, no. 10, pp. 1119–1126, 2001.
- [2]. V. S. Lesovik, E. S. Glagolev, D. Y. Popov, G. A. Lesovik, and M. S. Ageeva, "Textile-reinforced concrete using composite binder based on new types of mineral raw materials", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 327, 032033, 2018.
- [3]. S. V. Klyuev, A. V. Klyuev, T. A. Khezhev, and Y. V. Pukharensko, "High-strength fine-grained fiber concrete with combined reinforcement by fiber", *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 13, no. 8 SI, pp. 6407–6412, 2018.
- [4]. R. S. Fediuk, V. S. Lesovik, A. P. Svintsov, A. V. Mochalov, S. V. Kulichkov, N. Y. Stoyushko, N. A. Gladkova, and R.A. Timokhin, "Self-compacting concrete using pretreatment rice husk ash", *Mag. Civ. Eng.*, vol. 3, no. 79, pp. 66–76, 2018.
- [5]. N. Makul, R. Fediuk, M. Amran, A. M. Zeyad, G. Murali, N. Vatin, S. Klyuev, T. Ozbakkaloglu, and Y. Vasilev, "Use of recycled concrete aggregates in production of green cement-based concrete composites: A review", *Crystals*, vol. 11, no. 3, pp. 232, 2021.
- [6]. W. M. Shaban, J. Yang, H. Su, Q. Liu, D. C. W. Tsang, L. Wang, J. Xie, and L. Li, "Properties of recycled concrete aggregates strengthened by different types of pozzolan slurry", *Constr. Build. Mater.*, vol. 216, pp. 632–647, 2019.
- [7]. M. Etxeberria, E. Vázquez, A. Marí, and M. Barra, "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete", *Cem. Concr. Res.*, vol. 37, no. 5, pp. 735–742, 2007.
- [8]. K. Rahal, "Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate", *Build. Environ.*, vol. 42, no. 1, pp. 407–415, 2007.
- [9]. V. W. Y. Tam, C. M. Tam, and K. N. Le, "Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches", *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 50, no. 1, pp. 82–101, 2007.
- [10]. W. M. Shaban, J. Yang, H. Su, K. H. Mo, L. Li, and J. Xie, "Quality improvement techniques for recycled concrete aggregate: A review", *J. Adv. Concr. Technol.*, vol. 17, no. 4, pp. 151–167, 2019.
- [11]. N. Q. Pham và K. A. Le, "Coal fly ash in Vietnam and its application as a lightweight material", *Chem. Eng. Trans.*, vol. 83, pp. 31–36, 2021.
- [12]. F. Deschner, F. Winnefeld, B. Lothenbach, S. Seufert, P. Schwesig, S. Dittrich, F. Goetz-Neunhoeffer, and J. Neubauer, "Hydration of Portland cement with high replacement by siliceous fly ash", *Cem. Concr. Res.*, vol. 42, no. 10, pp. 1389–1400, 2012.
- [13]. B. Ali, M. A. Gulzar, and A. Raza, "Effect of sulfate activation of fly ash on mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete", *Constr. Build. Mater.*, vol. 277, 122329, 2021.
- [14]. Bộ Khoa học và Công nghệ, "TCVN 2682:2020 Xi măng poóc lăng - Yêu cầu kỹ thuật", 2020.
- [15]. Bộ Khoa học và Công nghệ, "TCVN 10302:2014 Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng", 2014.
- [16]. Bộ Khoa học và Công nghệ, "TCVN 7570:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật", 2006.
- [17]. Bộ Khoa học và Công nghệ, "TCVN 4506:2012 Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật", 2012.
- [18]. Z. Liu, G. De Schutter, D. Deng, and Y. Liu, "Study of cement-fly ash paste exposed to sodium sulfate solutions with different concentrations at different temperatures", in *Proceedings of 2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructure*, pp. 57–64, 2010.
- [19]. M. T. Dinh, X. H. Dao, T. T. H Vo, P. N. T. Pham, T. T. T. Nguyen, N. T. V. Le, and P. T. Bui, "A study of using cement-fly ash slurry for quality improvement of recycled concrete aggregate used in concrete production", *Proceedings of the 8th Science and Technology Symposium for OISP students, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), VNU-HCM*, 2020.
- [20]. American Concrete Institute (ACI) Committee 211, "ACI 211.1:91 Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete", 1991.
- [21]. American Concrete Institute (ACI) Committee 318, "ACI 318:11 Building code requirements for structural concrete", 2014.
- [22]. Bộ Khoa học và Công nghệ, "TCVN 3106:2022 Hỗn hợp bê tông - Phương pháp xác định độ sụt", 2022.
- [23]. Bộ Khoa học và Công nghệ, "TCVN 3118:2022 Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén", 2022.
- [24]. American Society for Testing and Materials, "ASTM 642:21 Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete", 2021.
- [25]. S. Donatello, A. Fernández-Jimenez, and A. Palomo, "Very high volume fly ash cements. Early age hydration study using Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as an activator", *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 96, no. 3, pp. 900–906, 2013.
- [26]. M. A. Nawaz, B. Ali, L. A. Qureshi, H. M. U. Aslam, I. Hussain, B. Masood, and S. S. Raza, "Effect of sulfate activator on mechanical and durability properties of concrete incorporating low calcium fly ash", *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 13, e00407, 2020. Atkinson, R., *Atmospheric chemistry of VOCs and NOx*. *Atmospheric Environment*, 2000. 34(12): p. 2063-2101.