

# Nghiên cứu sự bay hơi nước, co ngót và khả năng hút nước của bê tông tự lèn có hàm lượng tro bay cao sử dụng cốt liệu lớn tái chế

Nguyễn Hùng Cường<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Xây dựng DD&CN, Đại học Xây dựng Hà Nội

## TỪ KHOÁ

Bê tông tự lèn  
 Tính công tác  
 Bay hơi nước  
 Biến dạng dẻo  
 Co khô  
 Độ hút nước  
 Cốt liệu lớn tái chế  
 Tro bay hàm lượng cao

## TÓM TẮT

Trong quá trình hoạt động xây dựng, lượng chất thải rắn khó phân hủy thải ra môi trường rất lớn. Lượng chất thải rắn này có thể được tái sử dụng để làm cốt liệu trong ngành công nghiệp bê tông. Qua đó giảm tiêu hao năng lượng, phát thải khí nhà kính và tiết kiệm tài nguyên tự nhiên. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về sự ảnh hưởng của cốt liệu lớn tái chế (RCA) đến một số tính chất gồm sự bay hơi nước, biến dạng dẻo, co khô và độ hút nước của bê tông tự lèn có hàm lượng tro bay cao. Nghiên cứu sử dụng cốt liệu lớn tái chế với hàm lượng thay thế cốt liệu lớn tự nhiên lần lượt 0 %, 50 %, 75 % và 100 %, hàm lượng tro bay chiếm 50 % thể tích bột. Kết quả nghiên cứu cho thấy có thể sử dụng tối đa 100 % RCA, kết hợp với hàm lượng tro bay 50 % thể tích bột để chế tạo SCC có tỷ lệ nước bay hơi giảm 17,76 %, biến dạng dẻo tăng 42 %, co khô tăng 31,43 % và độ hút nước tăng rất ít, chỉ khoảng 2,63 % so với mẫu đối chứng (sử dụng cốt liệu lớn tự nhiên).

## KEYWORDS

Self-compacting concrete  
 Workability  
 Water vapor evaporation  
 Plastic shrinkage  
 Drying shrinkage  
 Water absorption  
 Recycled Coarse Aggregate  
 High volume fly ash

## ABSTRACT

During construction activities, a significant amount of non-degradable solid waste is generated, which can have a detrimental impact on the environment. This waste can be repurposed as recycled coarse aggregates (RCA) for use in the concrete industry. This approach reduces energy consumption, greenhouse gas emissions, and conserves natural resources. This article presents the experimental research results regarding the influence of recycled coarse aggregates (RCA) on several properties, including water vapor evaporation, plastic shrinkage, drying shrinkage, and water absorption, of high volume fly ash self-compacting concrete. The study used varying proportions of recycled coarse aggregates to replace natural coarse aggregates, ranging from 0% to 100%, with the fly ash content accounting for 50% of the powder volume. The research findings indicate that up to 100% RCA can be utilized, combined with a 50% volume proportion of fly ash, to manufacture self-compacting concrete (SCC). This results in a 17.76% reduction in water vapor evaporation, a 42% increase in plastic shrinkage, a 31.43% increase in drying shrinkage, a very minor increase in water absorption, only around 2.63% compared to the control sample (using natural aggregates).

## 1. Mở đầu

Trong quá trình hoạt động thi công xây dựng đã thải ra môi trường một lượng lớn các chất thải rắn khó phân hủy. Trong khi đó, các điểm xử lý và chôn lấp chất thải rắn từ hoạt động xây dựng còn rất hạn chế. Điều đó gây ra sự ảnh hưởng rất lớn đến môi trường sống và cảnh quan đô thị khi một phần lớn chất thải rắn không được xử lý đúng quy định. Trong khi đó, một số loại chất thải rắn này có thể được tái chế để làm vật liệu xây dựng nhằm giúp bảo tồn tài nguyên thiên nhiên. Trong ngành công nghiệp bê tông, nếu tận dụng chất thải rắn tái chế làm cốt liệu bê tông sẽ giảm được được các yêu cầu về năng lượng, lượng khí thải CO<sub>2</sub> so với việc khai thác và sử dụng các cốt liệu từ tự nhiên. Qua đó sản xuất được loại bê tông phát triển bền vững. Một số nghiên cứu đã chứng minh việc sử dụng hiệu quả các vật liệu phế thải trong bê tông [1].

Bê tông tự lèn (SCC) là loại bê tông có độ chảy loang cao, không bị phân tầng, có thể tự chảy và làm đầy ván khuôn kể cả khu vực có cốt thép dày đặc mà không cần đến sự tác động ngoại lực bên ngoài [2]. Việc sử dụng SCC mang lại nhiều lợi ích như thi công nhanh, giảm thiểu sự phụ thuộc vào nhân lực và thiết bị, cải thiện điều kiện làm việc cho công nhân, giảm tiếng ồn và bảo vệ môi trường. Tuy nhiên, do SCC phải sử dụng hàm lượng bột và phụ gia hóa học cao nên chi phí vật liệu và kiểm soát chất lượng của SCC vẫn cao hơn so với bê tông truyền thống [3]. Do vậy, cần thiết phải nghiên cứu một số giải pháp vật liệu thay thế như cốt liệu tái chế và tro bay hàm lượng cao nhằm giảm tối đa chi phí sản xuất SCC.

Trong SCC, thể tích cốt liệu lớn chiếm khoảng 50%. Cốt liệu lớn có tác động lớn đến chi phí sản xuất của SCC [4]. Trong những năm gần đây, việc sử dụng cốt liệu lớn tái chế (RCA) từ chất thải xây dựng và phá dỡ nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu [5]. Giải pháp sử dụng RCA để thay thế cho cốt liệu lớn tự nhiên trong bê tông

\*Liên hệ tác giả: cuongnh@huce.edu.vn

Nhận ngày 15/11/2023, sửa xong ngày 18/12/2023, chấp nhận đăng 21/12 /2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2023.592>

là một giải pháp phát triển bền vững [6]. Một số nghiên cứu đã cho thấy việc sử dụng RCA thay thế cốt liệu lớn tự nhiên vẫn có thể chế tạo SCC có các đặc tính kỹ thuật đạt yêu cầu [7-11]. Trong khi đó, tro bay cũng là phế thải từ ngành sản xuất nhiệt điện. Các nghiên cứu cho thấy sử dụng tro bay hàm lượng cao giảm đáng kể chi phí sản xuất SCC [12]. Đồng thời, khi kết hợp tro bay với việc sử dụng RCA có thể khắc phục được một phần các nhược điểm của bê tông sử dụng cốt liệu lớn tái chế [13]. Qua đó, có thể tạo ra được loại SCC có chi phí thấp, giảm tiêu hao tài nguyên và có tác dụng to lớn trong việc bảo vệ môi trường.

Trong nghiên cứu này, tác giả tiến hành nghiên cứu khảo sát sự ảnh hưởng của hàm lượng RCA đến các tính chất như bay hơi nước, biến dạng dẻo, co khô và độ hút nước của SCC có hàm lượng tro bay cao. Hàm lượng RCA thay thế cốt liệu lớn tự nhiên gồm 0 %, 50 %, 75 % và 100 %. Qua đó, sự ảnh hưởng của tỷ lệ RCA đến các đặc tính của SCC có hàm lượng tro bay cao được làm rõ. Hình 1 thể hiện công tác phân loại và tái chế làm vật liệu xây dựng tại Hà Nội.



Hình 1. Phân loại chất thải rắn và tái chế làm vật liệu xây dựng tại Hà Nội.



(a) Bê tông phế thải chưa nghiền



(b) RCA được chế tạo từ phế thải bê tông

Hình 2. Bê tông phế thải trước và sau khi nghiền làm RCA.

## 2. Vật liệu và cấp phối thí nghiệm

### 2.1. Vật liệu sử dụng

Vật liệu sử dụng trong thí nghiệm bao gồm: xi măng Vicem Bút Sơn PCB40; cát vàng Sông Lô, modul độ lớn 1,85, cát được sàng và loại bỏ các hạt có kích thước trên 5mm; cốt liệu lớn tự nhiên (coarse aggregates-CA) có  $D_{max}=20\text{mm}$ , là đá nghiền, khối lượng riêng  $2,75\text{g/cm}^3$ ; cốt liệu lớn tái chế (RCA) có  $D_{max}=20\text{mm}$ , khối lượng riêng  $2,62\text{g/cm}^3$ , độ hút nước 3,53%; tro bay: sử dụng tro bay nhiệt điện Phả Lại, tro bay loại F theo tiêu chuẩn ASTM C618; phụ gia siêu dẻo (SD): sử dụng phụ gia siêu dẻo thế hệ mới loại BiFi-HV298, gốc Polymer cải tiến, có tỷ trọng 1,05, phù hợp tiêu chuẩn ASTM C-494 loại G; Phụ gia biến tính độ nhớt (VMA) sử dụng loại Culminal loại MHPC400.

Cốt liệu lớn tái chế (RCA) trong nghiên cứu được chế tạo bằng cách sử dụng phế thải bê tông thu được từ phá dỡ công trình trên địa bàn thành phố Hà Nội. Sau đó, phế thải bê tông được tiến hành nghiền tại trạm nghiền huyện Đông Anh, Hà Nội. RCA có các chỉ tiêu phù hợp với TCVN 11969:2018 [14]. Hình 2. thể hiện bê tông phế thải trước và sau khi nghiền làm RCA.

### 2.2. Cấp phối bê tông thí nghiệm

Thiết kế cấp phối của SCC được thực hiện theo phương pháp do Akamura và Ozawa đề xuất [15]. Trong thí nghiệm, sử dụng tổng cộng 4 loại cấp phối khác nhau để đánh giá. Các cấp phối được tạo ra bằng cách sử dụng hàm lượng RCA thay thế khối lượng cốt liệu lớn tự nhiên gồm 0%, 50%, 75% và 100%, cố định tỷ lệ Tro bay/Bột (TB/B) = 0,5, tỷ lệ nước/bột (N/B) = 0,38, trong đó bột gồm khối lượng tro bay và xi măng. Thành phần cấp phối của SCC được thể hiện chi tiết trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần cấp phối hỗn hợp SCC.

Ký hiệu	RCA/CA (%)	Xi măng (kg)	Tro bay (kg)	Cát (kg)	Đá (kg)	RCA (kg)	Nước (kg)	SD (kg)	VMA (kg)
RCA0	0%	282,4	282,4	748,8	770	0	214,6	2,86	0,21
RCA50	50%	282,4	282,4	748,8	385	385	214,6	3,69	0,21
RCA75	75%	282,4	282,4	748,8	192,5	577,5	214,6	4,04	0,21
RCA100	100%	282,4	282,4	748,8	0	770	214,6	4,70	0,21

### 3. Kết quả thí nghiệm

#### 3.1. Thí nghiệm tính công tác hỗn hợp bê tông tự lèn

Tính công tác của hỗn hợp SCC được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 12209:2018 [16]. Các thông số kiểm tra gồm: slump flow (SF) dùng để đánh giá khả năng dòng chảy khi không có vật cản, slump flow time ( $T_{500}$ ) dùng để đánh giá độ nhớt của hỗn hợp SCC; passing ability  $J_{ring}$  ( $J_{ring}$ ) và passing ability  $L_{box}$  ( $L_{box}$ ) dùng để đánh giá khả năng vượt qua của hỗn hợp SCC;  $V_{funnel}$  flow time ( $V_{funnel}$ ) được sử dụng để đánh

giá độ nhớt hỗn hợp SCC trong trường hợp có vật cản; và segregation resistance (Sr) thử nghiệm kiểm tra độ phân tầng của hỗn hợp SCC bằng cách đo khối lượng bê tông lọt qua sàng 5 mm, khi được đổ từ độ cao 50 cm ± 5 cm. Theo [17], để đảm bảo điều kiện thi công giá trị độ chảy loang (SF) nằm trong khoảng 650-800mm, thời gian chảy  $T_{500}$  từ 2-5 s, giá trị  $J_{ring}$  từ 0-10mm, thời gian chảy  $V_{funnel}$  từ 6-12 s và độ phân tầng Sr từ 5-15%. Các kết quả thí nghiệm về độ chảy loang (SF), thời gian chảy  $T_{500}$ ,  $J_{ring}$ ,  $L_{box}$ ,  $V_{funnel}$  và kháng phân tầng Sr được hiện thị trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Kết quả kiểm tra tính công tác theo hướng dẫn của TCVN 12209 :2018 [16].

Ký hiệu	SF (mm)	$T_{500}$ (s)	$V_{funnel}$ (s)	$L_{box}$	$J_{ring}$ (mm)	Sr (%)
RCA 0	720	3,10	9,5	0,91	8,6	8,7
RCA 50	710	3,75	9,9	0,87	8,9	7,8
RCA 75	705	4,35	10,7	0,85	9,5	7,2
RCA 100	700	4,80	11,5	0,82	9,8	6,9



**Hình 3.** Thí nghiệm tính công tác hỗn hợp SCC.

Độ chảy loang các cấp phối trong thí nghiệm dao động từ 700 mm đến 720 mm, điều này cho thấy tính biến dạng của các hỗn hợp SCC khá tốt. Tất cả các cấp phối đều có thời gian chảy  $T_{500}$  từ 3,10 s đến 4,80 s, thời gian chảy  $V_{funnel}$  từ 9,5 s đến 11,5 s. Đồng thời, các cấp phối đều có khả năng vượt qua thử nghiệm  $L_{box}$  từ 0,82 đến 0,91 và  $J_{ring}$  từ 8,6 đến 9,8 mm. Tất cả các cấp phối đều thể hiện khả năng chảy qua rất tốt mà không gặp phải tắc nghẽn tại bất kì điểm nào. Độ phân tầng của các cấp phối đều dao động từ 6,9 % đến 8,7 %. Quan sát trực quan hỗn hợp SCC không thấy xuất hiện hiện tượng tách nước, cốt liệu phân tán đều trên vòng vữa. Có thể thấy tính công tác của các hỗn hợp bê tông khi sử dụng RCA vẫn có thể đáp ứng tốt các yêu cầu của EFNARC. Để đạt được điều này, thì yếu tố quan trọng là

sử dụng tăng hàm lượng phụ gia siêu dẻo. Trong trường hợp sử dụng RCA 50 %, 70 %, 100 % thì lượng phụ gia siêu dẻo đã sử dụng tăng so với cấp phối không sử dụng RCA lần lượt 29,02 %, 41,2 % và 64,3 % (Bảng 1). Bên cạnh đó, việc sử dụng hàm lượng tro bay cao cùng phụ gia biến tính độ nhớt trong tất cả các cấp phối đã giúp cho việc cải thiện độ chảy loang và tăng độ ổn định cho các hỗn hợp SCC. Hình 3 thể hiện quá trình thí nghiệm tính công tác hỗn hợp SCC.

Quan sát trực quan các mặt cắt ngang các mẫu bê tông của các cấp phối cho thấy các hạt cốt liệu lớn phân bố khá đồng đều trên mặt cắt. Điều đó chứng tỏ các cấp phối không có sự phân tầng cốt liệu đáng kể. Hình 4 thể hiện mặt cắt qua các mẫu bê tông của các cấp phối ở độ tuổi 28 ngày.



(a) RCA 0%



(b) RCA 50%



(c) RCA 75%



(d) RCA 100%

**Hình 4.** Mặt cắt qua các mẫu bê tông của các cấp phối ở độ tuổi 28 ngày.

### 3.2. Bay hơi nước và biến dạng dẻo của SCC

Bay hơi nước của bê tông là sự mất nước ra môi trường xung quanh dưới tác động của các yếu tố thời tiết như nhiệt độ không khí, độ ẩm tương đối của không khí, tốc độ gió và bức xạ mặt trời. Trong nghiên cứu này, thể tích nước bay hơi qua bề mặt hở của SCC được xác định bằng cách cân các mẫu thử có kích thước 10 cm x 10 cm x 30 cm trên cân điện tử với độ chính xác 0,1g (Hình 5a). Trong thời gian 10 giờ, với thời gian lấy mẫu là 1 giờ, tính từ thời điểm đổ bê tông vào khuôn, mẫu bê tông được cân để xác định lượng nước bốc hơi.

Biến dạng dẻo là quá trình vật lý diễn ra trong giai đoạn đầu khi bê tông bắt đầu đông kết và đóng rắn. Phương pháp đo biến dạng

dẻo của BTTL được sử dụng trong bài báo dựa trên cơ sở các phương pháp đã được áp dụng bởi các nghiên cứu về bê tông ở các nước Liên Xô cũ [26], được phát triển và ứng dụng ở một số nghiên cứu trong điều kiện khí hậu Việt Nam [27, 28, 29]. Biến dạng dẻo của SCC được xác định qua 2 đồng hồ đo biến dạng có độ chính xác 0.002mm đặt ở 2 đầu của mẫu bê tông kích thước 10x10x30cm, tương đồng với mẫu đo bay hơi nước (Hình 5b). Việc đo và ghi số liệu cứ sau 1 giờ, đo liên tiếp trong vòng 8 giờ (từ 10h đến 18h) kể từ lần đo đầu tiên. Giá trị biến dạng dẻo là tổng kết quả đo của 2 đồng hồ và được chuyển đổi về đơn vị mm/m dựa trên tổng giá trị biến dạng đo được và chiều dài của mẫu đo.



(a) Cân xác định lượng nước bay hơi



(b) Đo biến dạng dẻo

**Hình 5.** Đo tỷ lệ nước bay hơi và biến dạng dẻo của SCC.

Bay hơi nước và biến dạng dẻo của SCC được đo đồng thời ở ngoài trời trong điều kiện khí hậu nóng ẩm, nhiệt độ 36 °C, độ ẩm 60 %,

thời điểm đo tháng 9 năm 2023 tại địa bàn thành phố Hà Nội. Bảng 3 thể hiện kết quả đo lượng nước bay hơi và biến dạng dẻo SCC.

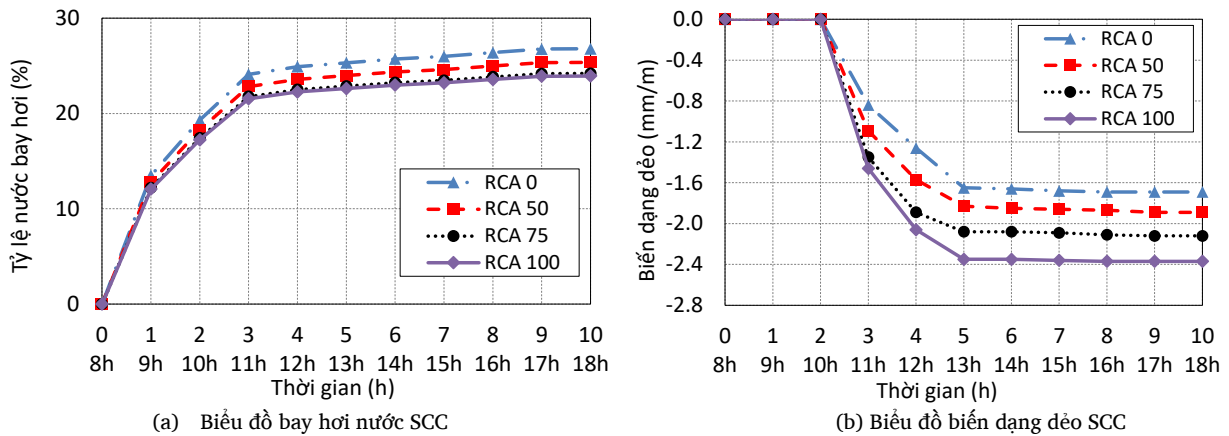
**Bảng 3.** Kết quả đo lượng nước bay hơi và biến dạng dẻo của SCC.

Chỉ tiêu	RCA0	RCA50	RCA75	RCA100
Mất nước (%)	28,68	25,37	24,20	23,94
Biến dạng dẻo (mm/m)	1,65	1,83	2,08	2,35

Kết quả thí nghiệm cho thấy tỷ lệ nước bay hơi trong các cấp phối RCA 0, RCA 50, RCA 75 và RCA 100 lần lượt là 28,68%, 25,37%, 24,2%, 23,94%. Việc tăng hàm lượng RCA làm giảm lượng nước bay hơi. Khi sử dụng hàm lượng RCA lần lượt 50%, 75% và 100% tỷ lệ nước bay hơi giảm lần lượt 11,54%, 15,6% và 17,76% so với mẫu đối chứng (RCA 0). Lượng nước bay hơi nhỏ hơn ở hàm lượng RCA cao có thể do khi sử dụng nhiều RCA thì độ hút nước tăng lên nên giảm lượng nước tự do trong bê tông, dẫn đến lượng nước bay hơi khỏi bề mặt bê tông sẽ bị giảm.

Biến dạng dẻo phát triển nhanh và nhiều trong 2-5 giờ đầu tiên, sau đó tăng chậm trong thời gian còn lại. Sau 8 giờ đo biến dạng dẻo

của các cấp phối RCA 0, RCA 50, RCA 75 và RCA 100 lần lượt 1,65mm/m, 1,83mm/m, 2,08mm/m và 2,35mm/m. Như vậy, việc tăng hàm lượng RCA làm tăng biến dạng dẻo trong các cấp phối SCC. Khi hàm lượng RCA sử dụng 50%, 75% và 100%, biến dạng dẻo tăng lần lượt 10,9%, 26% và 42% so với mẫu đối chứng (RCA 0). Có thể thấy kết quả nghiên cứu khá phù hợp với công bố của tác giả Rizwan [22] khi sử dụng RCA với hàm lượng 100%, gia tăng biến dạng dẻo khoảng 40% so với mẫu đối chứng do khả năng hút nước lớn hơn của RCA. Hình 6 thể hiện biểu đồ bay hơi nước và biến dạng dẻo theo thời gian của các cấp phối SCC.



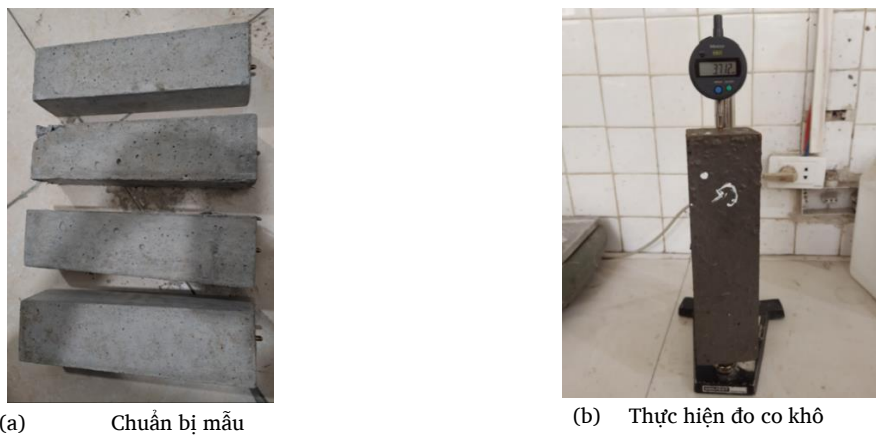
Hình 6. Biểu đồ bay hơi nước và biến dạng dẻo SCC.

### 3.3. Co khô của SCC

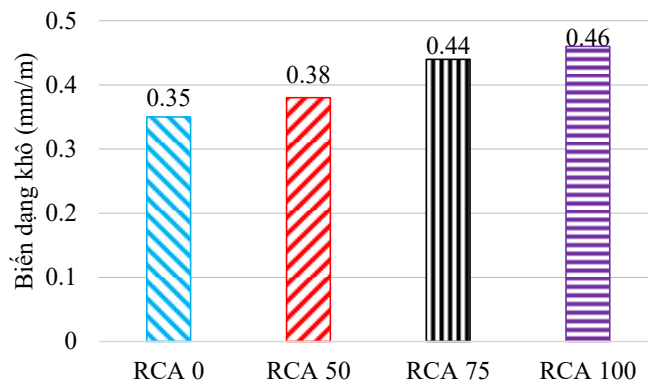
Bê tông được đúc mẫu và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [18]. Các viên mẫu có kích thước 75x75x285mm. Thực hiện xác định co khô của SCC theo hướng dẫn của tiêu chuẩn TCVN 3117:2022 [19]. Hình 7 thể hiện quá trình đo co khô SCC.

Co khô ở độ tuổi 28 ngày, với các cấp phối RCA 0, RCA 50, RCA 75 và RCA 100 có giá trị lần lượt 0,35mm/m, 0,38mm/m, 0,44mm/m và 0,46mm/m.

Sử dụng RCA với hàm lượng 50%, 75%, 100% giá trị co khô tăng lần lượt tương ứng 8,57%, 25,71% và 31,43% so với mẫu đối chứng RCA 0. Giá trị co khô tăng lên cùng với tăng hàm lượng RCA được giải thích do RCA có mô đun đàn hồi nhỏ hơn so với cốt liệu lớn tự nhiên nên biến dạng lớn hơn [22]. Hình 8 thể hiện kết quả đo co khô các cấp phối SCC.



Hình 7. Thí nghiệm đo co khô SCC.

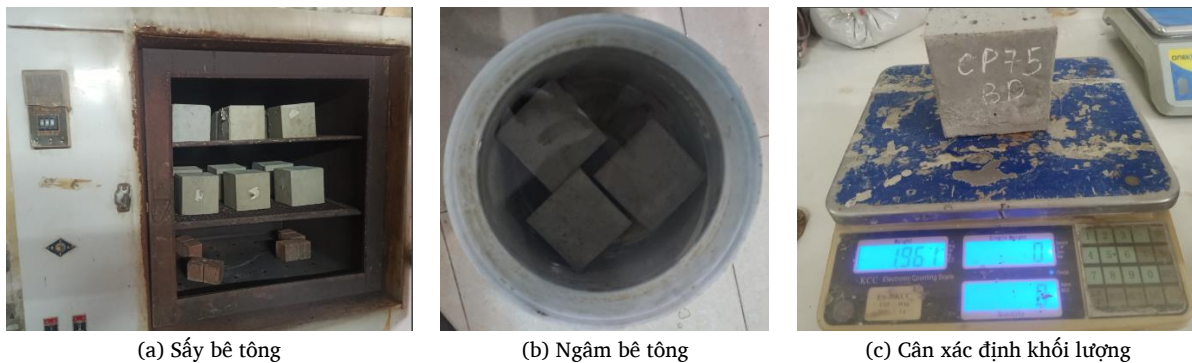


Hình 8. Kết quả đo co khô các cấp phối SCC.

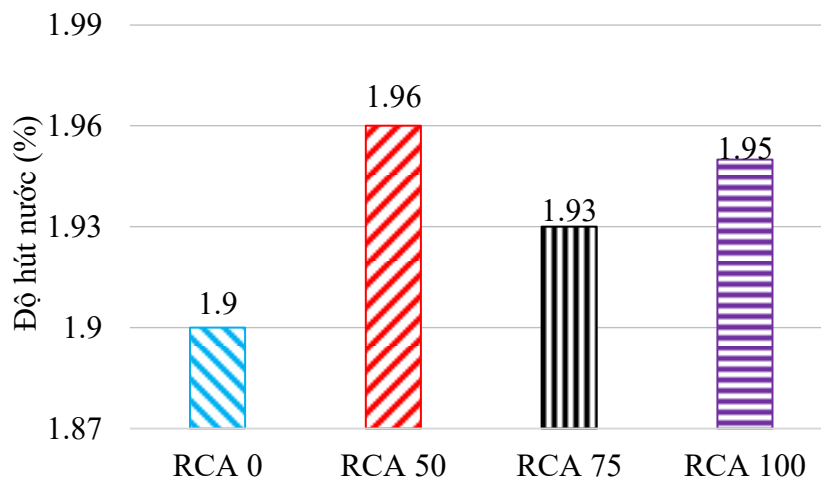
So sánh với kết quả nghiên cứu của Bouhamou [20] đối với SCC không sử dụng tro bay làm phụ gia mịn, độ co ngót ở độ tuổi 28 ngày có giá trị khoảng từ 0.40mm/m. Kết quả thí nghiệm cho thấy, cấp phối RCA 0 sử dụng hàm lượng tro bay 50% thể tích bột có giá trị co khô thấp hơn khoảng 12,5%. Nguyên nhân có thể do sử dụng hàm lượng tro bay cao nên lượng nhiệt thủy hóa thấp và các thành phần không thủy hóa hoạt động như cốt liệu hạn chế phần lớn sự co khô xảy ra [21]. Hình 8 thể hiện giá trị độ co khô các cấp phối SCC.

### 3.4. Độ hút nước SCC

Bê tông được đúc mẫu và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [18]. Các viên mẫu có kích thước 100x100x100 mm. Thực hiện xác định độ hút nước theo hướng dẫn TCVN 3113:2022 [23]. Hình 9 thể hiện quá trình đo độ hút nước SCC.



Hình 9. Thí nghiệm độ hút nước các cấp phối SCC.



Hình 10. Kết quả thí nghiệm độ hút nước của các cấp phối SCC.

Độ hút nước của các cấp phối RCA 0, RCA 50, RCA 75, RCA 100 lần lượt là 1,9 %, 1,96 %, 1,93 % và 1,95 %. So với mẫu đối chứng (RCA 0), các cấp phối sử dụng hàm lượng RCA 50 %, 75 %, 100 % có độ hút nước tăng không đáng kể, chỉ dưới khoảng 4 %. Nguyên nhân độ hút nước tăng ít khi sử dụng RCA theo tác giả Miyazawa [24] do lớp hồ xi măng của SCC có độ đặc chắc cao nên nước bên ngoài rất khó thấm vào các mao quản bên trong. Việc cung cấp nước vào bên trong bê tông có tỷ lệ N/X thấp là một khó khăn, SCC có độ rỗng thấp, sự không liên tục của mao quản nên hạn chế dòng chảy bên ngoài cung cấp cho các mao quản bên trong. So với công bố của tác giả Chánh D.C [25], khi sử dụng tro bay với hàm lượng 50 %, cốt liệu tự nhiên cho bê tông cường độ cao có độ hút nước 3,02 %. Độ hút nước trong trường hợp sử dụng 100 % RCA vẫn có kết quả nhỏ hơn. Điều đó cho thấy, đối

với SCC có hàm lượng tro bay cao, việc sử dụng RCA không ảnh hưởng nhiều đến độ hút nước. Hình 10 thể hiện kết quả đo độ hút nước các cấp phối SCC.

### 4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy có thể sử dụng hoàn toàn RCA kết hợp với tro bay hàm lượng cao và phụ gia siêu dẻo để chế tạo SCC có tính công tác đáp ứng yêu cầu theo hướng dẫn của EFNARC.

Bay hơi nước giảm khi tăng tỷ lệ RCA. Sử dụng 100 % RCA tỷ lệ nước bay hơi trong điều kiện khí hậu nóng ẩm giảm 17,76 % so với mẫu đối chứng.

Biến dạng dẻo tăng tỷ lệ thuận với mức tăng RCA. Sử dụng 100 % RCA, biến dạng dẻo trong điều kiện khí hậu nóng ẩm tăng 42 % so với mẫu đối chứng.

Co khô SCC tăng tỷ lệ thuận với mức tăng của RCA trong thành phần. Sử dụng RCA với hàm lượng 100% tăng co khô 31,43% so với mẫu đối chứng (không sử dụng RCA).

Độ hút nước của các mẫu SCC tăng không đáng kể khi sử dụng RCA. Sử dụng hàm lượng 100 % RCA, độ hút nước tăng khoảng 2,63 % so với mẫu đối chứng (không sử dụng RCA).

## Tài liệu tham khảo

- [1]. Joyklad, P., Yooprasertchai, E., Rahim, A., Ali, N., Chaiyasarn, K., and Hussain, Q. (2022). Sustainable and low-cost hemp FRP composite confinement of B-waste concrete. *Sustainability*, 14, (13):7673 -7681.
- [2]. ACI 237R-07 (2007), Self-Consolidating Concrete, American Concrete Institute Farmington Hills, MI, USA.
- [3]. Tuyan, M., Mardani-Aghabaglou, A., and Ramyar, k. Freezethaw resistance. (2014). Mechanical and transport properties of self-consolidating concrete incorporating coarse recycled concrete aggregate. *Materials and Design*, 53:983–991.
- [4]. Martinez-Garcia, M., Jagadesh, P., Fraile-Fernandez, F.J., Moran-del Pozo, P.M., and Juan-Valdes, A. Influence of design parameters on fresh properties of self-compacting concrete with recycled aggregate—a review. *Materials*, 13(24):5749.
- [5]. Kou, S. C., Poon, C. S. 2009. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 31, (9):622–627.
- [6]. Da Silva, S. R., Cimadon, F. N., Borges, P. M., Schiavon, J. Z., Possan, E., and Andrade, J. J. d. O. 2022. Relationship between the mechanical properties and carbonation of concretes with construction and demolition waste. *Case Studies in Construction Materials*, 16, Article ID e00860.
- [7]. Garcia-Troncoso, N., Q. Cheng, L. Li., Mo, K. H., and Ling, T. 2021. Comparative study on the properties and high temperature resistance of self-compacting concrete with various types of recycled aggregates. *Case Studies in Construction Materials*, 15, Article ID e00678.
- [8]. Hendriks, C.F., Pietersen, H.S.1998. Concrete: durable, but also sustainable. *Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate*, London: Thomas Telford, 1–18.
- [9]. S. Manzi, C. Mazzotti, and M. Chiara Bignozzi, “Self-compacting concrete with recycled concrete aggregate: study of the long-term properties,” *Construction and Building Materials*, vol. 157, pp. 582–590, 2017.
- [10]. M. Nili, H. Sasanipour, and F. Aslani, “The effect of fine and coarse recycled aggregates on fresh and mechanical properties of self-compacting concrete,” *Materials*, vol. 12, no. 7, p. 1120, 2019.
- [11]. Uygunoğlu, İ. B., Topçu, Çelik, A. G. 2014. Use of waste marble and recycled aggregates in self-compacting concrete for environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 84: 691–700.
- [12]. Bouzoubaa, N., Lachemi, M. 2001. Self Compacting concrete incorporating High Volumes of Class F fly ash: Preliminary results. *Cement and concrete Research*, 31:413-420.
- [13]. Da Silva, S. R., Andrade, J. J. D. O. 2022. A review on the effect of mechanical properties and durability of concrete with construction and demolition waste (CDW) and fly ash in the production of new cement concrete. *Sustainability*, 14(11):6740.
- [14]. TCVN 11969:2018. *Cốt liệu lớn tái chế cho bê tông*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [15]. Okamura, H., Ozawa, K.1995. Mix design for self-compacting concrete, *Concrete library of JSCE*. 25(6):107-120.
- [16]. TCVN 12209:2018. *Bê tông tự lèn – Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [17]. BIBM, EFCA, EFNARC, ERMCO, CEMBUREAU: The European guidelines for self-compacting concrete (2005). SCC European Project Group, EFNARC.
- [18]. TCVN 3105 : 2022. *Hỗn hợp bê tông và bê tông – Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [19]. TCVN 3117:2022. *Bê tông nặng – Phương pháp xác định độ co*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [20]. Bouhamou, N. E., Belas, N., Bendani, K., & Mebrouki, A. 2013. Shrinkage behavior of a self-compacting concrete. *Materiali in tehnologije*, 47(6):763-769.
- [21]. Atis, C. D. 2003. High-volume fly ash concrete with high strength and low drying shrinkage. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(2):153-156.
- [22]. Rizwan, S. A., Irfan-ul-Hassan, M., Rahim, A., Ali, S., Sultan, A., Syamsunur, D., & Md Yusoff, N. I. 2022. Recycled Coarse Aggregate for Sustainable Self-Compacting Concrete and Mortar. *Advances in Materials Science and Engineering*.
- [23]. TCVN 3113:1993. *Bê tông – phương pháp xác định độ hút nước*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [24]. Meeks, Kenneth W., and Nicholas J. Carino. 1999. Curing of high-performance concrete: Report of the state-of-the-art. US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology.
- [25]. Chánh, Đ. C., Nhuận, N. P., Khánh, T. V., & Phước, H. T. 2021. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay thay thế một phần xi măng đến các tính chất của bê tông cường độ cao. *Tạp chí Vật liệu & Xây dựng-Bộ Xây dựng*, 11(05), 6-Trang.
- [26]. СА Миронов, ЕН Малинский (1985), Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата, М.: Стройиздат, р. 316.
- [27]. Đích, N.T. (2000). *Công tác Bê tông trong điều kiện nóng ẩm*. Nhà xuất bản Xây Dựng, Hà Nội.
- [28]. Хо Нгок Кхоа (2007), Технология устройства монолитных бетонных конструкций в переменных температурно-влажностных условиях (примерно к условиям Вьетнама), Дис.к.т.н., МГСУ, Москва.
- [29]. Нгуен Дык Тхань (2002), Повышение эксплуатационных свойств монолитного бетона в условиях влажного жаркого климата, Дис. к.т.н. МГСУ, Москва.