

Ứng dụng gạch đỏ tái chế làm cốt liệu lớn cho bê tông tự lèn có hàm lượng tro bay cao

Nguyễn Hùng Cường^{1*}

¹ Khoa Xây dựng DD&CN, Đại học Xây dựng Hà Nội

TỪ KHOÁ

Bê tông tự lèn
Tính công tác
Cường độ bê tông
Độ thấm ion clorua
Độ hút nước
Cốt liệu lớn tái chế
Gạch đỏ tái chế
Tro bay hàm lượng cao

TÓM TẮT

Hoạt động xây dựng và cải tạo công trình đã thải ra môi trường một lượng lớn khối xây gạch đỏ. Trong khi đó các nghiên cứu trên thế giới đã cho thấy phế thải khối xây gạch đỏ có thể được sử dụng để làm cốt liệu cho bê tông nhằm giảm chi phí, tiết kiệm tài nguyên và bảo vệ môi trường. Trong bài báo này, tác giả trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về việc sử dụng gạch đỏ tái chế làm cốt liệu lớn cho bê tông tự lèn có hàm lượng tro bay cao. Nghiên cứu sử dụng 100 % gạch đỏ tái chế làm cốt liệu lớn cho bê tông tự lèn, hàm lượng tro bay áp dụng 50 % thể tích bột. Các đặc tính được đánh giá và so sánh với bê tông tự lèn (BTTL) sử dụng cốt liệu lớn tự nhiên bao gồm tính công tác, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, độ thấm ion clorua, độ hút nước và hiệu quả kinh tế. Kết quả nghiên cứu cho thấy so với mẫu đối chứng (RBCA0) việc sử dụng 100 % cốt liệu gạch đỏ tái chế có thể chế tạo bê tông tự lèn có tính công tác đáp ứng yêu cầu theo hướng dẫn Châu Âu bằng cách tăng hàm lượng phụ gia siêu dẻo và sử dụng tro bay hàm lượng cao, cường độ nén giảm 13,62 %, cường độ uốn giảm 19,4 %, độ thấm ion clorua tăng 62 %, độ hút nước tăng 39 %. Đồng thời chi phí vật liệu và thi công giảm so với bê tông truyền thống (BTTL) có mức tương đương lần lượt là 5,95 % và 10,04 %.

KEYWORDS

Self-compacting concrete
Encompass workability
Concrete strength
Chloride ion permeability
Water absorption
Recycled Coarse Aggregate
Recycled red brick
High volume fly ash

ABSTRACT

Construction and renovation activities have resulted in a significant amount of red brick waste being generated into the environment. Meanwhile, global research has indicated that waste from red bricks can be utilized as aggregate for concrete to reduce costs, conserve resources, and protect the environment. In this paper, the author presents the results of experimental research on the use of recycled red bricks as aggregate for self-compacting concrete with a high proportion of fly ash. The study utilizes 100 % recycled red bricks as coarse aggregate for self-compacting concrete, with a 50 % volume fraction of fly ash. The properties are evaluated and compared with self-compacting concrete (SCC) via the use of natural stone, workability, compressive strength, flexural strength, chloride ion permeability, water absorption, and economic efficiency. The research results indicate that the use of 100 % recycled brick aggregate can produce self-compacting concrete that meets European guidelines. This can be achieved by increasing the dosage of superplasticizer and utilizing high-content fly ash. The compressive strength decreases by 13.62 %, the flexural strength decreases by 19.4 %, the chloride ion permeability increases by 62 %, and the water absorption increases by 39 % compared to the control sample. Material and construction costs are lower and reduced compared to traditional concrete with the same strength, with reductions of 5.95 % and 10.04 %, respectively.

1. Mở đầu

Bê tông là một loại vật liệu được sử dụng phổ biến nhất trong ngành xây dựng công trình [1]. Hàng năm, lượng bê tông trên toàn cầu sử dụng khoảng 35 tỷ tấn. Trong đó, lượng xi măng tiêu thụ 4,2 tỷ tấn, lượng cốt liệu 28 tỷ tấn và 2,8 tỷ tấn nước cộng với phụ gia [2]. Cốt liệu lớn là thành phần quan trọng và chiếm khối lượng lớn trong sản xuất bê tông. Tuy nhiên, việc khai thác và sử dụng cốt liệu lớn tự nhiên đang dẫn đến cạn kiệt nguồn tài nguyên. Trong khi đó,

quá trình hoạt động xây dựng đã thải ra môi trường một lượng lớn chất thải rắn, trong đó lượng gạch đất sét nung chiếm một tỷ trọng lớn. Ước tính ở Anh lượng gạch thải trong quá trình xây dựng hàng năm là 380.000 tấn và ở Hoa Kỳ là 120.000 tấn [3]. Nghiên cứu của [4] ở Hồng Kông cho thấy gạch thải trong quá trình xây tường và khối xây chiếm khoảng 4-8 %. Hiện nay, phần lớn lượng gạch thải được xử lý chôn lấp hoặc được các nhà thầu xây dựng đổ trái phép không đúng quy định. Điều đó gây sự lãng phí tài nguyên, ảnh hưởng đến môi trường và cảnh quan đô thị. Do đó, việc nghiên cứu tận dụng

*Liên hệ tác giả: cuongnh@huce.edu.vn

Nhận ngày 11/12/2023, sửa xong ngày 20/03/2024, chấp nhận đăng ngày 25/03/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2024.607>

nguồn gạch đỏ thái tái chế làm cốt liệu lớn trong chế tạo bê tông cho các kết cấu đang được nhiều nước trên thế giới quan tâm. Ví dụ, Trung Quốc đã ban hành hướng dẫn sử dụng cốt liệu tái chế cho bê tông và quy định bắt buộc sử dụng cốt liệu tái chế đối với bê tông có cường độ chịu lực thấp [5]. Việt Nam đã ban hành chiến lược phát triển vật liệu xây dựng, trong đó khuyến khích tăng cường sử dụng, tận dụng, tái chế phế thải công nghiệp, xây dựng, giao thông làm cốt liệu thay thế một phần đá tự nhiên [6].

Cốt liệu lớn tái chế từ gạch đỏ (RBCA) là cốt liệu có kích thước hạt lớn hơn 4,75 mm, sản xuất bằng cách nghiền và sấy trong lò các phế thải gạch đất sét nung lấy từ hoạt động xây dựng [7]. Các hạt RBCA kích thước lớn thường có bề mặt phẳng, nhiều lỗ rỗng. RBCA kích thước nhỏ hơn có nhiều góc cạnh, bề mặt gồ ghề và các vết nứt nhỏ. Hiện nay, RBCA chủ yếu sử dụng cho các kết cấu không chịu lực nhiều như khối bê tông lát đường [8] hoặc bê tông rỗng [9]. Theo [10], cường độ nén của bê tông sử dụng RBCA giảm 10-35 % so với bê tông thông thường. Cường độ nén bê tông phụ thuộc vào cường độ của gạch ban đầu và có thể sản xuất được bê tông có cường độ nén 28 ngày đạt cường độ 20-40MPa. Nghiên cứu của Khalaf [11] cho thấy hình dạng góc cạnh và độ nhám bề mặt của gạch có lợi cho liên kết giữa cốt liệu và hồ xi măng. Cường độ uốn của bê tông sử dụng cốt liệu gạch thấp hơn so với bê tông thường khoảng 8-15 % và giá trị co ngót của bê tông tăng lên khi sử dụng RBCA. Tác giả Debieb [12] nghiên cứu về tương quan giữa cường độ nén và uốn của bê tông sử dụng RBCA đã kết luận sự giảm cường độ uốn tương tự như cường độ nén. Đồng thời, độ hút nước của bê tông sử dụng RBCA lớn hơn đáng kể. Tác giả đã chỉ ra nước trong bê tông có thể chứa các yếu tố ăn mòn như clorua hay sunfat sẽ gây ảnh hưởng đến độ bền bê tông. Nghiên cứu của Correia [13] chỉ ra modun đàn hồi của bê tông sử dụng RBCA thấp hơn so với bê tông thông thường 30-40 %. Ruhl [14] cho thấy biến dạng của bê tông sử dụng RBCA tăng 30-40 %. Tác giả Pinchi [15] đã chứng minh việc sử dụng 21 % RBCA, bê tông có biến dạng dẻo, cường độ nén và uốn tăng do quá trình thủy hóa xi măng được thúc đẩy bởi lượng nước bổ sung được lưu giữ trong RBCA. Tác giả Iffat [16] đề xuất sử dụng gạch vụn vì hiệu quả của nó như một phương pháp tự bảo dưỡng bên trong, tác giả đã sử dụng 20 % gạch vụn làm cốt liệu lớn thay thế cốt liệu lớn tự nhiên để đạt được khả năng chịu nén lớn hơn của bê tông. Cũng theo tác giả Iffat [3] việc sử dụng một phần RBCA làm cốt liệu lớn cho bê tông sẽ có tác dụng giảm việc sử dụng nước cho công tác bảo dưỡng bê tông dẫn đến đơn giá bê tông giảm. Sử dụng RBCA làm cốt liệu lớn trong bê tông là một giải pháp thay thế hiệu quả về mặt chi phí.

Bê tông tự lèn (BTTL) là loại bê tông đặc biệt có độ chảy cao và tính công tác tốt, có thể tự chảy qua các góc hẹp ván khuôn hoặc cốt thép đan dày bằng chính trọng lực bản thân mà vẫn đảm bảo độ đặc chắc và đồng nhất tốt [17]. Do BTTL phải sử dụng hàm lượng bột và phụ gia hóa học cao nên chi phí vật liệu và kiểm soát chất lượng của BTTL vẫn cao hơn so với bê tông truyền thống [18]. Do vậy, cần thiết phải nghiên cứu giải pháp vật liệu thay thế như sử dụng RBCA và tro bay hàm lượng cao nhằm giảm tối đa chi phí sản xuất BTTL.

Đối với BTTL, tác giả Shaon [19] đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng RBCA lên các tính chất lưu biến và cơ học. Trong nghiên cứu, phần cốt liệu lớn sử dụng gạch đỏ được thay thế ở các mức 0 %, 25 %, 50 %, 75 % và 100 % bằng RBCA. Kết quả cho thấy không có sự thay đổi lớn nào được phát hiện về tính công tác của hỗn hợp BTTL khi thay thế cốt liệu lớn từ gạch đỏ bằng RBCA. Cường độ chịu nén của BTTL khi thay thế 75 % cốt liệu gạch đỏ bằng RBCA có giá trị đạt 35 MPa, tương đương giá trị cường độ chịu nén của mẫu đối chứng (sử dụng cốt liệu gạch đỏ). Trong trường hợp sử dụng 100% RBCA cường độ nén BTTL đạt giá trị khoảng 29MPa, giảm so với mẫu đối chứng khoảng 17,1 %. Cường độ chịu kéo BTTL ở mức thay thế cốt liệu gạch đỏ 75 % và 100 % bằng RBCA không có thay đổi đáng kể. Ở mức thay thế 25 % và 50 % cường độ chịu kéo tăng khoảng 20 % so với mẫu đối chứng. Kết quả khẳng định việc sử dụng RBCA làm cốt liệu lớn cho BTTL là hoàn toàn khả thi. Bên cạnh 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 BTTL [5]. Đồng thời, tro bay có tác dụng làm giảm khả năng thấm, giảm nhu cầu nước và nhiệt độ thủy hóa, tăng tính công tác của BTTL [6]. Do đó, khi kết hợp đồng thời việc sử dụng RBCA với sử dụng tro bay hàm lượng cao trong sản xuất BTTL cho các kết cấu không yêu cầu cường độ cao có thể khắc phục được một phần các nhược điểm của RBCA. Qua đó, có thể tạo ra được loại BTTL có chi phí thấp, giảm tiêu hao tài nguyên và có tác dụng to lớn trong việc bảo vệ môi trường.

Hiện nay, các nghiên cứu về các đặc tính của BTTL khi sử dụng đồng thời RBCA và tro bay hàm lượng cao còn rất hạn chế. Trong nghiên cứu này, tác giả đã tiến hành nghiên cứu RBCA từ phế thải gạch đất sét nung và tro bay loại F theo TCVN 10302:2014 để chế tạo BTTL. Hàm lượng RBCA được khảo sát gồm 0 % và 100 % thể tích cốt liệu lớn, hàm lượng tro bay sử dụng 50 % thể tích bột. Các đặc tính được đánh giá bao gồm tính công tác, cường độ nén, uốn, độ chống thấm ion clorua, độ hút nước và hiệu quả kinh tế của BTTL. Qua đó, các đặc tính của BTTL sử dụng RBCA được làm rõ.

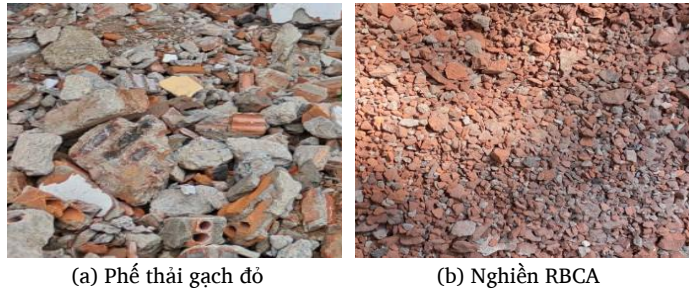
2. Vật liệu và cấp phối thí nghiệm

2.1. Vật liệu sử dụng

Vật liệu sử dụng trong thí nghiệm bao gồm: xi măng Vicem Bút Sơn PCB40 (XM); cát vàng Sông Lô, modul độ lớn 2,1; cốt liệu lớn tự nhiên: (coarse aggregates-CA) có $D_{max}=20$ mm, là đá nghiền, khối lượng riêng $2,75\text{g/cm}^3$; RBCA có $D_{max}=2$ cm, độ hút nước 14,2 %, khối lượng riêng $2,07\text{g/cm}^3$; tro bay (TB): sử dụng tro bay nhiệt điện Phả Lại, tro bay loại F theo tiêu chuẩn TCVN 10302:2014; 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 (RBCA) trong nghiên cứu được chế tạo bằng cách sử dụng phế thải khối xây gạch đỏ từ phá dỡ công trình tại thành phố Hà Nội. Sau đó, phế thải khối xây gạch đỏ được tiến hành nghiền

và sấy khô tại trạm nghiền. Hình 1 thể hiện RBCA được nghiền từ phế thải khối xây gạch đỏ.



Hình 1. RBCA được nghiền từ khối xây gạch đỏ.

2.2. Cấp phối bê tông thí nghiệm

Thiết kế cấp phối của BTTL được thực hiện theo phương pháp được đề xuất bởi Akamura và Ozawa [20], cụ thể: cốt liệu lớn được cố định 50 % thể tích bê tông, cốt liệu mịn chiếm 40 % thể tích vữa, tỷ lệ Nước/Bột (N/B) theo thể tích được điều chỉnh từ 0,9-1. Trong thí nghiệm, sử dụng 2 loại cấp phối khác nhau để đánh giá. Các cấp phối được tạo ra bằng cách sử dụng RBCA thay thế cốt liệu lớn tự nhiên gồm 0 % và 100 %; cố định tỷ lệ tro bay/bột (TB/B)=0,5; tỷ lệ nước/bột (N/B) theo khối lượng = 0,38. Trong đó bột gồm xi măng và tro bay. Thành phần cấp phối BTTL được thể hiện chi tiết trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần cấp phối BTTL.

Ký hiệu	RBCA/Đá (%)	XM (kg)	TB (kg)	Cát (kg)	RBCA (kg)	Đá (kg)	Nước (kg)	SD (kg)	VMA (kg)
RBCA0	0%	282,4	282,4	748,8	0	770	214,6	2,86	0,21
RBCA100	100%	282,4	282,4	748,8	770	0	214,6	4,95	0,21

3. Kết quả thí nghiệm

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

Bảng 2. Kết quả kiểm tra tính công tác BTTL.

Ký hiệu	SF (mm)	T ₅₀₀ (second)	V _{funnel} (second)	L _{box}	J _{ring} (mm)	Sr (%)
RBCA0	720	3,1	9,5	0,91	9,6	8,7
RBCA100	710	4,7	11,7	0,87	9,9	6,1

Thí nghiệm tính công tác hỗn hợp BTTL được thực hiện theo hướng dẫn TCVN 12209:2018 [21]. Các chỉ tiêu thí nghiệm tính công tác gồm: khả năng chảy loang không có vật cản (SF), thời gian chảy không vật cản T₅₀₀, thời gian chảy có vật cản V-funnel, khả năng vượt qua vòng J_{ring} (J-ring), hộp L-box (L_{box}) và độ phân tầng (Sr). Kết quả thí nghiệm cho thấy độ chảy loang của RBCA100 đạt 710 mm, giảm so với RBCA0 1,38 %. Điều này là kết quả của việc tăng tỷ lệ phụ gia siêu dẻo lên đến 73 % so với RBCA0 nhằm khắc phục hiệu ứng hút nước mạnh và nhanh từ gạch đỏ và lớp vữa cũ. Đồng thời, việc sử dụng RBCA cũng làm tăng độ nhớt của hỗn hợp BTTL thể hiện qua các thông số: thời gian chảy T₅₀₀ tăng từ 3,1 giây lên 4,7 giây; V-funnel tăng từ 9,5 giây lên 11,7 giây; khả năng vượt qua J-ring tăng từ 9,6 mm lên 9,9 mm và L-box giảm từ 0,91 xuống 0,87. Tuy nhiên, có thể thấy độ hút nước lớn hơn của RBCA dẫn đến độ phân tầng của cấp phối RBCA100 có xu hướng giảm so với cấp phối RBCA0. Các kết quả thí nghiệm về độ chảy loang (SF), thời gian chảy T₅₀₀, J_{ring}, L_{box}, V_{funnel} và độ phân tầng Sr được thể hiện trong Bảng 2. Hình 2 thể hiện thí nghiệm tính công tác hỗn hợp BTTL.



Hình 2. Thí nghiệm tính công tác hỗn hợp BTTL.



Hình 3. Mặt cắt BTTL ở độ tuổi 28 ngày.

Quan sát mặt cắt của cả hai cấp phối RBCA0 và RBCA100 (Hình 3) cho thấy không có hiện tượng phân tầng xảy ra trong bê tông. Cốt liệu của cả hai cấp phối phân bố đều trên mặt cắt bê tông. Điều đó đã chứng tỏ các cấp phối có tính công tác tốt.

Kết quả thí nghiệm cho thấy nhờ sử dụng hàm lượng tro bay cao là yếu tố có tính chất tăng cường tính công tác hỗn hợp BTTL và sử dụng tăng cường lượng phụ gia siêu dẻo kết hợp với phụ gia biến

tính độ nhớt nên hoàn toàn có thể chế tạo hỗn hợp BTTL sử dụng 100 % RBCA mà vẫn đáp ứng tốt các yêu cầu tính công tác theo yêu cầu [22]. Theo hướng dẫn Châu Âu [22] về phân loại và chỉ dẫn sử dụng BTTL, với độ chảy loang SF, BTTL thuộc loại SF2 (660-750 mm) phù hợp cho các kết cấu nền đúc tại chỗ; độ nhớt theo thí nghiệm V-funnel thuộc loại VF2 (9-25s) phù hợp cho kết cấu có độ phẳng và độ nhẵn không cao, độ ổn định cao; giá trị độ phân tầng SR thuộc loại SR2 phù hợp cho các kết cấu thi công theo chiều dọc với khoảng chảy > 5 m, khoảng cách cốt thép > 80 mm. Như vậy, hỗn hợp BTTL có các chỉ tiêu tính công tác khá phù hợp để thi công các công trình hạ tầng như nền nhà, nền đường bằng bê tông toàn khối hoặc các kết cấu gạch đúc sẵn tự chèn.

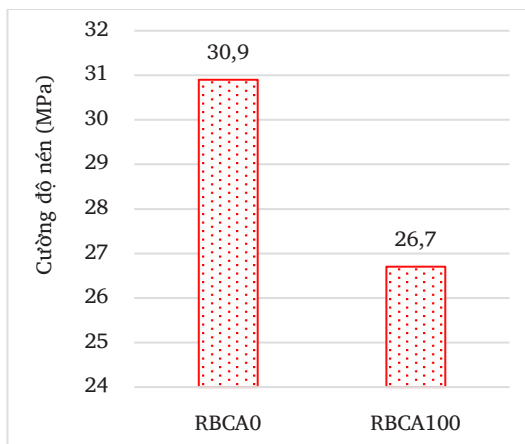
3.2. Kết quả thí nghiệm cường độ nén và uốn BTTL

Thí nghiệm xác định cường độ nén: Bê tông được đúc và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [23]. Mẫu bê tông có kích thước 10x10x10cm. Các mẫu đúc và bảo dưỡng ngày đầu ở điều kiện tiêu chuẩn, sau đó được ngâm trong nước từ ngày thứ 2. Thí nghiệm cường độ chịu nén được tiến hành theo TCVN 3118:2022 [24]. Mẫu được nén ở độ tuổi 28 ngày. Trong nghiên cứu này, thí nghiệm nén được thực hiện bằng máy nén thủy lực 200 tấn DHR 200. Hình 4 thể hiện thí nghiệm nén mẫu BTTL.



(a) Chuẩn bị mẫu nén (b) Thí nghiệm nén mẫu

Hình 4. Thí nghiệm nén mẫu BTTL.



Hình 6. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén

Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi uốn: Bê tông được đúc mẫu và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [23]. Các viên mẫu có kích thước 150x150x600 mm. Thực hiện xác định cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông theo hướng dẫn của tiêu chuẩn TCVN 3119:2022 [25]. Hình 5 thể hiện thí nghiệm uốn mẫu BTTL.

Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ nén của các cấp phối RBCA0 và RBCA100 (Hình 6) lần lượt là 30,9 MPa và 26,69MPa ở độ tuổi 28 ngày. Việc sử dụng RBCA100 làm giảm cường độ của BTTL so với cấp phối sử dụng đá tự nhiên là 13,62 %.

Cường độ chịu kéo dọc trục (R_k) và cường độ kéo khi uốn (R_{ku}) của RBCA100 lần lượt là 3,15MPa và 1,82MPa, có kết quả thấp hơn 19,4 % so với RBCA0, giá trị (R_k) và (R_{ku}) lần lượt là 3,91 MPa và 2,26 MPa. Hình 7 thể hiện kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông.

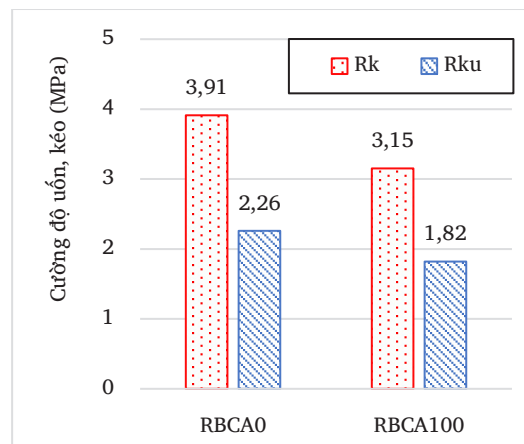


(a) Thí nghiệm uốn mẫu RBCA100

(b) Bề mặt phá hủy mẫu RBCA100

Hình 5. Thí nghiệm uốn mẫu BTTL.

Có thể thấy do sự liên kết tốt giữa lớp hồ xi măng và cốt liệu của BTTL nên sự phá hủy qua quan sát trực quan của cả hai cấp phối chủ yếu xảy ra ở cốt liệu (Hình 5.b). Trong khi đó, đá tự nhiên có cường độ cao hơn gạch đỏ nên cho giá trị cường độ chịu nén và chịu kéo khi uốn của BTTL sử dụng đá tự nhiên sẽ cao hơn so với sử dụng RBCA.



Hình 7. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn và chịu kéo dọc trục.

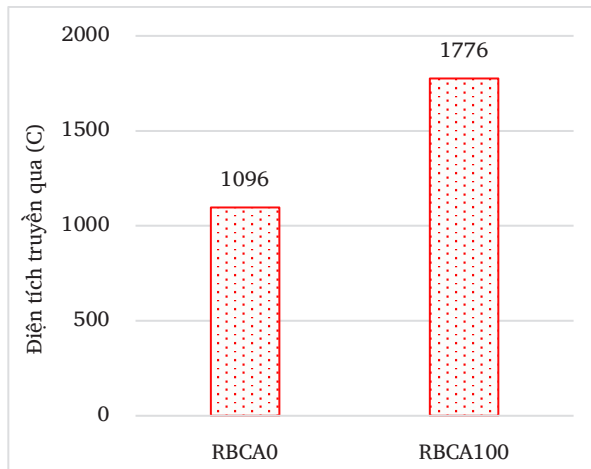
3.3. Kết quả thí nghiệm thẩm ion clorua và độ hút nước BTTL

Thí nghiệm tính thẩm ion clorua: Thực hiện theo phương pháp RCPT theo hướng dẫn TCVN 9337:2012 [26]. Thí nghiệm được tiến hành bằng cách cho dòng điện một chiều chạy qua mẫu hình trụ có đường kính 100mm và cao 50 mm. Một mặt của mẫu thử tiếp xúc với dung dịch NaCl 3 % nối với điện cực âm, trong khi mặt còn lại tiếp xúc với dung dịch NaOH nối với điện cực dương. Khả năng thẩm ion clorua được đánh giá bằng cách đo điện tích truyền qua mẫu trong khoảng thời gian 6 giờ. Hình 8 thể hiện quá trình thí nghiệm RCPT.



(a) Chuẩn bị mẫu (b) Thí nghiệm đo RCPT
Hình 8. Thí nghiệm đo độ thẩm ion clorua.

Thí nghiệm độ hút nước: Bê tông được đúc mẫu và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [23]. Các viên mẫu có kích thước 100x100x100 mm.

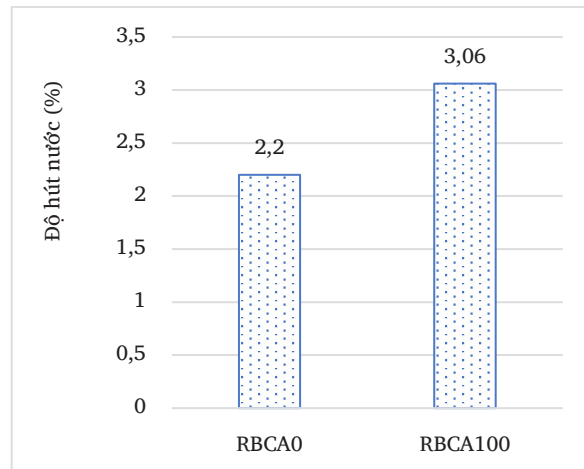


Hình 9. Kết quả thí nghiệm RCPT

Thực hiện xác định độ hút nước được thực hiện theo hướng dẫn TCVN 3113:2022 [27].

Kết quả thí nghiệm RCPT (Hình 9) cho thấy ở độ tuổi 28 ngày, điện tích truyền qua các mẫu RBCA0 và RBCA100 lần lượt là 1096C và 1776C. Như vậy, giá trị điện tích truyền qua mẫu RBCA100 tăng 62 % so với mẫu RBCA0. Lý do độ thẩm ion clorua tăng nhiều là do RBCA có độ xốp của gạch và vữa cũ sót lại trên bề mặt gạch đỏ lớn nên tăng tính thẩm trong BTTL dẫn đến các điện tích dễ truyền qua bê tông nhiều hơn. Tuy nhiên, điện tích truyền qua mẫu BTTL của cả hai cấp phối RBCA0 và RBCA100 đều có giá trị nằm trong khoảng 1000-2000C, theo TCVN 9337:2012 cả hai cấp phối thuộc loại có mức độ thẩm thấp.

Độ hút nước của các cấp phối RBCA0 và RBCA100 lần lượt là 2,2 % và 3,06 %. So với mẫu đối chứng (RBCA0), các cấp phối sử dụng hàm lượng RBCA100 có độ hút nước tăng 39 %. Độ hút nước BTTL tăng cao là do RBCA có độ hút nước lớn (khoảng 14,2 %) nên các lớp RBCA phía ngoài cùng của mẫu bê tông có khả năng dễ hút nước vào bên trong. Tuy nhiên, có thể thấy so với bê tông truyền thống thì độ hút nước 3,06 % là khá bé. Có được điều này là do bản chất lớp hồ xi măng của BTTL đặc chắc và khó thấm nước. Do đó, khi lớp hồ xi măng của BTTL bao bọc quanh RBCA sẽ làm cho nước trong thời gian ngắn khó xâm nhập vào các lớp bên trong bê tông. Hình 10 thể hiện kết quả thí nghiệm độ hút nước.



Hình 10. Kết quả thí nghiệm độ hút nước

3.4. Đánh giá hiệu quả kinh tế

BTTL trong nghiên cứu có cường độ nén đạt 26,7MPa, tương đương với bê tông mác M250. Để đánh giá về tài chính của BTTL sử dụng RBCA, nghiên cứu đã tiến hành phân tích và tính chi phí sản xuất, thi công loại bê tông này và so sánh với loại bê tông truyền thống (BTTL) có mác M250, độ sụt 6-8cm áp dụng cho công tác thi công bê tông nền nhà tại địa bàn huyện Đông Anh, thành phố Hà Nội. Công tác tính toán chi phí được thực hiện theo định mức ĐM-12/2021 [28]; quyết định số 934/QĐ-SXD [29]; quyết định số

935/QĐ-SXD [30]; công bố giá số 02.02/2023/ CBGVL-SXD ngày 29/5/2023 công bố giá vật liệu xây dựng quý 2 năm 2023 trên địa bàn thành phố Hà Nội. Theo đó, tại thời điểm nghiên cứu, giá thành của vật liệu, nhân công và ca máy cụ thể như sau: xi măng PCB40: 1.372.000 đồng/tấn, tro bay: 270.000 đồng/tấn, siêu dẻo: 28.000 đồng/lít, VMA: 200.000 đồng/kg, Đá: 1x2: 315.000 đồng/m³, RBCA: 136.048 đ/m³, cát: 491.000 đồng/m³, nhân công: 267.026 đồng/công, máy trộn bê tông: 336.171 đồng/ca, máy đầm bàn: 289.370 đồng/ca. Bảng 3 thể hiện hao phí vật liệu, máy, nhân công theo định mức 12/2021.

Bảng 3. Định mức vật liệu, máy, nhân công thi công bê tông (mã định mức: AF.113).

TT	Thành phần hao phí	Đơn vị	BTTL	BTBT
1	Vữa bê tông	m ³	1,025	1,025
2	Nhân công	công	0,9	1
3	Máy trộn 250 lít	ca	0,095	0,095
4	Máy đầm dùi 1.5KW	ca	0	0,089
5	Máy đầm bàn 1KW	ca	0	0,089

Kết quả tính toán chi phí (Bảng 4) cho thấy BTTL và BTBT có chi phí vật liệu lần lượt là 917.206 đồng/m³ và 975.249 đồng/m³. Chi

Bảng 4. Bảng tính chi phí vật liệu và chi phí thi công BTTL và BTBT.

TT	Loại bê tông	Vật liệu (đ/m ³)	Nhân công (đ/m ³)	Máy thi công (đ/m ³)	Đơn giá tổng hợp (đ/m ³)	Chênh lệch đơn giá vật liệu (%)	Chênh lệch đơn giá tổng hợp (%)
1	BTTL	917.206	285.985	31.936	1.235.127	-5,95	-10,40
2	BTBT	975.249	317.761	85.516	1.378.525		

Bảng 5. Chi phí sản xuất RBCA.

T	Thành phần hao phí	Đơn vị	Hao phí	Đơn giá	Thành tiền
1	Máy nghiền 125 m ³ /h	m ³	0,0019	8.356.194	15.878
2	Bốc xếp lên ô tô	m ³	1	33.810	33.810
3	Chi phí vận chuyển	m ³	1	69.603	69.603
4	Nhân công 3/7	công	0,01196	267.026	3.194
5	Máy đào 1,25 m ³	ca	0,00328	3.802.902	12.473
6	Máy ủi 110CV	ca	0,00057	1.912.099	1.090
	Tổng cộng	đồng/m ³			136.048

Đơn giá tổng hợp thi công nền nhà bằng BTTL và BTBT lần lượt là 1.235.127 đồng/m³ và 1.378.525 đồng/m³. Như vậy, so với BTBT đơn giá tổng hợp BTTL thấp hơn 10,04 %. Đơn giá tổng hợp thi công BTTL giảm nhiều là do loại bê tông này không cần phải đầm rung nên giảm được chi phí nhân công đầm và chi phí máy thi công. Theo [24] sử dụng RBCA hút nhiều nước nên có hiệu quả như phương pháp tự bảo dưỡng bên trong, dẫn đến sẽ giảm chi phí bảo dưỡng bê tông sau khi thi công. Do đó trên thực tế, việc sử dụng RBCA chế tạo BTTL còn có thể giảm chi phí thi công nhiều hơn kết quả tính toán ở trên.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy có thể chế tạo được hỗn hợp BTTL với cốt liệu lớn hoàn toàn bằng RBCA có tính công tác đáp ứng tốt các yêu cầu theo hướng dẫn Châu Âu bằng cách sử dụng tăng hàm lượng phụ gia siêu dẻo và sử dụng hàm lượng tro bay cao. BTTL sử dụng RBCA có các đặc tính như sau:

phí vật liệu của BTTL thấp hơn so với BTBT M250 là 5,95 %. Cốt liệu trong BTTL chiếm tỷ lệ khoảng 50 % thể tích bê tông, nên ảnh hưởng khá lớn đến chi phí sản xuất SCC. Sử dụng RBCA là phế thải xây dựng nên chi phí chế tạo RBCA chủ yếu là chi phí nghiền, bốc xếp và vận chuyển. Chi phí sản xuất đá 1x2 ngoài chi phí sản xuất như khoan phá đá, bốc xếp, nghiền và vận chuyển thì còn chịu các loại thuế phí về môi trường nên giá thành đá tự nhiên sẽ cao hơn nhiều so với RBCA. Theo giá thị trường năm 2023 tại địa bàn Hà Nội, giá đá tự nhiên là 315.000 đồng/m³. Trong khi đó giá RBCA có 136.048 đồng/m³ (Bảng 5), chỉ bằng khoảng 43 % giá của đá tự nhiên. Do đó, việc sử dụng RBCA đã hạ giá thành sản xuất SCC thấp hơn so với BTBT.

- Cường độ nén của BTTL sử dụng 100 % RBCA có giá trị 26,69 MPa, thấp hơn so với BTTL sử dụng 100% cốt liệu lớn tự nhiên khoảng 13,62 %.

- Cường độ chịu kéo khi uốn của BTTL sử dụng 100 % RBCA có giá trị 3,15 MPa, thấp hơn so với BTTL sử dụng cốt liệu lớn tự nhiên 100% tự nhiên khoảng 19,4 %.

- Độ thấm ion clorua của BTTL sử dụng 100% RBCA thuộc loại thấp và cao hơn so với BTTL sử dụng 100% cốt liệu lớn tự nhiên khoảng 62%.

- Độ hút nước của BTTL sử dụng 100% RBCA là 3,06 %, cao hơn so với BTTL sử dụng 100 % cốt liệu lớn tự nhiên khoảng 39 %.

- Chi phí vật liệu và chi phí thi công BTTL sử dụng RBCA thấp hơn so với bê tông truyền thống có cường độ nén tương đương (M250) lần lượt là 5,95 % và 10,04 %.

BTTL sử dụng RBCA phù hợp cho các ứng dụng cho các kết cấu có yêu cầu chịu lực không cao như các công trình nền nhà, đường giao thông nông thôn hoặc công trình vỉa hè. Ngoài ra việc sử dụng RBCA là một yếu tố quan trọng để có thể sản xuất BTTL phát triển bền vững.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Chen, B. C., Ji, T., Huang, Q. W., Wu, H. Z., Ding, Q. J., & Zhan, Y. W.. (2014). Review of research on ultra-high performance concrete. *J. Archit. Civ. Eng.*, 31:1-24.
- [2]. Tổng hội Xây dựng Việt Nam. (2022). Đại hội lần VI Hội bê tông Việt Nam nhiệm kì 2022-2025.
- [3]. Iffat, S., Manzur, T., & Noor, M. A. (2017). Durability performance of internally cured concrete using locally available low cost LWA. *KSCE Journal of civil Engineering*, 21:1256-1263.

- [4]. Shen, L. Y., Tam, V. W. Y., Tam, C. M., & Ho, S.. (2000). Material wastage in construction activities—a Hong Kong survey. *In Proceedings of the first CIB-W107 international conference—creating a sustainable construction industry in developing countries*, 125-131.
- [5]. Hou, S., Duan, Z., Xiao, J., Li, L., & Bai, Y.. (2021). Effect of moisture condition and brick content in recycled coarse aggregate on rheological properties of fresh concrete. *Journal of Building Engineering*, 35:102075.
- [6]. Thủ tướng Chính phủ. (2020). Quyết định số 1266/QĐ-TTg, Phê duyệt chiến lược phát triển vật liệu xây dựng Việt Nam thời kì 2021-2030, định hướng đến năm 2050.
- [7]. Xiao, J.Z., Lan, Q.B., Zhang, Q.T., Zhang, K.J.. (2022). Application and prospect of combined recycled concrete and its derived structures. *J. Build. Sci. Eng.*, 1–18.
- [8]. Poon, C. S., & Chan, D.. (2006). Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick. *Construction and building materials*, 20(8):569-577.
- [9]. Cheng, G., Zhang, K.S., Kou, S.C., Pan, Z.S..(2013). Effects of typical construction solid waste recycled aggregates on the performance of environmentally friendly bricks. *J. Environ. Eng.*, 7:2716–2720.
- [10]. Kesegić, I., Netinger, I., & Bjegović, D.. (2008). Recycled Clay Brick as an aggregate for concrete. *Tehnički vjesnik*, 15(3):35-40.
- [11]. Khalaf, F. M., & DeVenny, A. S.. (2004). Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete. *Journal of materials in civil engineering*, 16(4):331-340.
- [12]. Debieb, F., & Kenai, S.. (2008). The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and building materials*, 22(5):886-893.
- [13]. Correia, J. R., de Brito, J., & Pereira, A. S.. (2006). Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates. *Materials and structures*, 39:169-177.
- [14]. Ruhl, M.;Atkinson, G.. (1999). The influence of recycled aggregate on stress- strain relation of concrete. *Darmstadt Concrete*, 14.
- [15]. Pinchi, S., Ramírez, J., Rodríguez, J., & Eyzaguirre, C.. (2020). Use of recycled broken bricks as Partial Replacement Coarse Aggregate for the Manufacturing of Sustainable Concrete. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 758(1):012039.
- [16]. Iffat, S., Manzur, T., Rahman, S., Noor, M. A., & Yazdani, N.. (2017). Optimum proportion of masonry chip aggregate for internally cured concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 11(3):513-524.
- [17]. Amalia, Yanuar Setiawan, Lilis Tiyani, Agus Murdiyoto. (2023). Effect of rice husk ash and steel fibers on self-compacting concrete properties. *GEOMATE Journal*, 25(108):130-137.
- [18]. Tatjana Stankovic, B.Sc. C.E. (2007). Investigation as Regard new technological Features of concrete for the construction of Modern road structure, the Highway institute, Belgrade, Serbia Building material. *Department*.
- [19]. Dey, S.K., Bayzid, I.K.M, Joy, S.I., Shaon, J. U., & Hasnat, A.. (2016). Effect of Recycled Brick Aggregate on Self-Compacting Concrete: Rheological and Mechanical Properties. *BUET-ANWAR ISPAT 1st Bangladesh Civil Engineering SUMMIT*, 1-7.
- [20]. Hajime Okamura, Kazumasa Ozawa. (1995). Mix design for self-compacting concrete. *Concrete library of JSCE*, 25(6):107-120.
- [21]. TCVN 12209:2018. *Bê tông tự lèn - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [22]. BIBM, EFCA, EFNARC, ERMCO, CEMBUREAU. (2005). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete - Specification, Production and Use,1-63.
- [23]. TCVN 3105:2022. *Hỗn hợp bê tông và bê tông - Lấy mẫu, chế tạo và báo dưng mẫu thử*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [24]. TCVN 3118:2022. *Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [25]. TCVN 3119:2022. *Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [26]. TCVN 9337:2012. *Bê tông nặng - Xác định độ thấm ion clo bằng phương pháp đo điện lượng*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [27]. TCVN 3113:2022. *Bê tông - Phương pháp xác định độ hút nước*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [28]. Bộ Xây dựng. (2021). Thông tư 12/2021/TT-BXD. *Ban hành định mức xây dựng*.
- [29]. Sở Xây dựng Hà Nội. (2022). Quyết định 934/QĐ-SXD. *Công bố đơn giá nhân công xây dựng trên địa bàn thành phố Hà Nội*.
- [30]. Sở Xây dựng Hà Nội. (2022). Quyết định 935/QĐ-SXD. *Công bố giá ca máy và thiết bị thi công xây dựng trên địa bàn thành phố Hà Nội*.