

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM SỬ DỤNG CỐT LIỆU NHỎ TÁI CHẾ TỪ KHỐI XÂY GẠCH ĐỎ CHO BÊ TÔNG TỰ LÊN CÓ HÀM LƯỢNG TRO BAY CAO

Nguyễn Hùng Cường^{a,*}

^a*Khoa Xây dựng Dân dụng & Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 01/4/2024, Sửa xong 02/5/2024, Chấp nhận đăng 09/5/2024

Tóm tắt

Bài báo này tác giả trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về việc sử dụng khối xây gạch đỏ làm cốt liệu nhỏ tái chế cho bê tông tự lên có hàm lượng tro bay cao. Nghiên cứu sử dụng 100% khối xây gạch đỏ tái chế làm cốt liệu nhỏ cho bê tông tự lên, hàm lượng tro bay áp dụng 50% khối lượng bột. Kết quả nghiên cứu cho thấy so với bê tông tự lên sử dụng cát tự nhiên, việc sử dụng 100% cốt liệu nhỏ tái chế từ khối xây gạch đỏ có thể chế tạo bê tông tự lên có tính công tác đáp ứng yêu cầu thi công bằng cách tăng hàm lượng phụ gia siêu dẻo, cường độ nén giảm 16,60%, cường độ uốn giảm 5,82%, độ thấm ion clorua tăng 164,6%, độ mài mòn tăng 22,9%. Tuy nhiên, chi phí vật liệu sản xuất bê tông tự lên sử dụng cốt liệu nhỏ tái chế từ khối xây gạch đỏ thấp hơn so với bê tông tự lên sử dụng cát tự nhiên khoảng 6,10%. Đồng thời, so sánh với bê tông truyền thống có cường độ nén tương đương (M250), chi phí vật liệu sản xuất bê tông tự lên sử dụng cốt liệu nhỏ tái chế từ khối xây gạch đỏ thấp hơn khoảng 10,88%.

Từ khóa: bê tông tự lên; tính công tác; cường độ bê tông; độ thấm ion clorua; cốt liệu nhỏ tái chế; tro bay hàm lượng cao.

EXPERIMENTAL STUDY ON USING RECYCLED FINE AGGREGATE FROM RED BRICK WALL FOR SELF-COMPACTING CONCRETE WITH WITH HIGH VOLUME FLY ASH

Abstract

This paper presents experimental research results on utilizing red brick wall as recycled fine aggregate for self-compacting concrete with a high volume of fly ash. The study employed 100% recycled red brick wall as fine aggregate for self-compacting concrete, with the fly ash content comprising 50% of the powder volume. The research results show that compared to self-compacting concrete using natural sand, using 100% recycled fine aggregate from red brick wall can produce self-compacting concrete with workability meeting construction requirements by increasing the amount of superplasticizer and utilizing a high volume of fly ash. This results in 16.60% reduction in compressive strength, 5.82% reduction in flexural strength, 164.6% increase in chloride ion permeability, and 22.9% increase in abrasion resistance. Nevertheless, the material cost of producing self-compacting concrete using recycled fine aggregate from red brick wall is approximately 6.10% lower than using natural sand. Furthermore, compared to traditional concrete with equivalent compressive strength (M250), the material cost of producing self-compacting concrete using recycled fine aggregate from red brick wall is about 10.88% lower.

Keywords: self-compacting concrete; workability; concrete strength; chloride ion permeability; recycled fine aggregate; high volume fly ash.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(2V\)-03](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(2V)-03) © 2024 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: cuongnh@huce.edu.vn (Cường, N. H.)

1. Mở đầu

Bê tông là loại vật liệu được sử dụng phổ biến nhất trong xây dựng công trình. Hiện nay, có đến 80% lượng bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên [1]. Tuy nhiên, nguồn cốt liệu tự nhiên đang dần cạn kiệt, khiến ngành công nghiệp bê tông đang phải tìm kiếm các giải pháp thay thế. Trong khi đó, tại các đô thị lớn ở Việt Nam, chất thải rắn từ hoạt động xây dựng cũng đang ngày càng gia tăng. Theo [2] tại địa bàn thành phố Hà Nội, mỗi năm lượng chất thải rắn từ hoạt động xây dựng khoảng từ 2,7 triệu tấn đến 6,2 triệu tấn. Lượng chất thải rắn từ hoạt động xây dựng thường bao gồm đất, đá, bê tông, khối xây gạch đỏ, gỗ..., trong đó, khối xây gạch đỏ thường chiếm khoảng 31% [3]. Do đó, việc nghiên cứu tái chế các phế thải khối xây làm cốt liệu nhỏ cho bê tông không những góp phần quan trọng trong việc giảm chất thải rắn từ hoạt động xây dựng mà còn giúp giảm việc tiêu thụ tài nguyên tự nhiên và giảm lượng khí thải carbon trong ngành công nghiệp bê tông.

Cốt liệu nhỏ tái chế (RFA) từ khối xây gạch đỏ là cốt liệu có kích thước hạt nhỏ hơn 5 mm, sản xuất bằng cách nghiền các phế thải khối xây gạch đỏ lấy từ hoạt động xây dựng. Các nghiên cứu về việc sử dụng cốt liệu gạch nghiền đã được thực hiện từ năm 1928 và đã có nhiều ứng dụng thành công trên thế giới. Tại Đức, sau thế chiến thứ 2, việc tái sử dụng các phế thải xây dựng làm cốt liệu đã mang lại kết quả tích cực, với hàng trăm nghìn ngôi nhà được xây dựng bằng cốt liệu tái chế [1]. Đến nay, đã có nhiều nghiên cứu về sử dụng cốt liệu tái chế từ khối xây gạch đỏ, cụ thể: cốt liệu gạch tái chế có khả năng hấp thụ nước cao. Đồng thời, lớp vữa cũ bám dính trên cốt liệu tái chế có xu hướng hút nước từ hỗn hợp bê tông [4]. Sự hấp phụ nước cao, kết hợp với hình dạng không đều của cốt liệu tái chế làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông [5, 6]. Lớp vữa cũ có tính xốp và nhiều lỗ rỗng cũng là nguyên nhân khiến loại cốt liệu này có khả năng hút nước cao [7]. Nghiên cứu của Debieb và Kenai [8] đã cho thấy cường độ nén thấp hơn 30% khi thay thế cát bằng cốt liệu gạch mịn. Ngược lại, nghiên cứu của Khatib [9] cho thấy sử dụng cốt liệu gạch nghiền mịn thay thế 25% lượng cát tự nhiên cho kết quả cường độ nén ở tuổi 90 ngày tương đương với mẫu sử dụng hoàn toàn cát tự nhiên. Nghiên cứu của Mora-Ortiz và cs. [10] cho thấy sử dụng RFA tái chế từ gạch đỏ và vữa xây để thay thế một phần cho cát tự nhiên (lần lượt 20% và 30%) đáp ứng yêu cầu về cường độ nén và độ bám dính để sử dụng làm vữa xây cho các kết cấu trong nhà. Trong khi đó, Bektas và cs. [1] nhận thấy rằng việc thay thế tới 30% cát tự nhiên bằng cốt liệu gạch mịn nghiền sẽ làm tăng phản ứng kiềm - cốt liệu. Nghiên cứu của Ge và cs. [11] đã chỉ ra việc sử dụng gạch nghiền làm cốt liệu nhỏ sản xuất bê tông tự lèn (BTTL) làm tăng độ thấm ion clorua. Tuy nhiên, độ thấm ion clorua của BTTL được đánh giá là thấp khi tỷ lệ thay thế 50%, và có giá trị trung bình khi tỷ lệ 75% và 100%. Hoang và cs. [12] nghiên cứu sử dụng cốt liệu cát tái chế từ phế thải gạch đỏ và bê tông cho thấy các tính chất cơ lý của bê tông cường độ cao bị giảm khi sử dụng cát tái chế. Bên cạnh đó, theo Lei và cs. [13], việc tăng hàm lượng RFA trong sản xuất bê tông có tác dụng giảm lượng khí thải carbon.

BTTL là bê tông có độ chảy loãng 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 [14]. BTTL không chỉ nâng cao hiệu suất lao động và chất lượng công trình mà còn giúp cải thiện điều kiện lao động [15]. Tuy nhiên, chi phí sản xuất của BTTL vẫn còn cao hơn so với bê tông đầm rung truyền thống do sử dụng hàm lượng bột mịn và phụ gia hóa học cao [16]. Do vậy, để BTTL phát huy tối đa các ưu điểm vốn có, cần nghiên cứu các giải pháp phù hợp về vật liệu sử dụng. Tại Việt Nam, giá thành tro bay thấp hơn nhiều so với xi măng nên sử dụng tro bay hàm lượng cao thay thế một phần xi măng cũng là một giải pháp hợp lý nhằm giảm chi phí sản xuất BTTL. Đồng thời, việc sử dụng hàm lượng tro bay cao làm phụ gia mịn sẽ giúp cho việc giảm lượng xi măng sử dụng cho sản xuất bê tông. Qua đó, góp phần quan trọng trong việc giảm khí thải CO₂ phát sinh và giảm tiêu thụ tài nguyên thô trong quá trình sản xuất xi măng. Như vậy, việc kết hợp sử dụng RFA với tro bay hàm lượng cao

trong sản xuất BTTL sẽ giúp cho việc tiết kiệm nguồn tài nguyên tự nhiên và có tác dụng to lớn trong việc bảo vệ môi trường.

Các nghiên cứu hiện nay tập trung chủ yếu về các đặc tính của bê tông hoặc vữa xây tường khi sử dụng RFA từ phế thải gạch đỏ hoặc vữa xây. Tuy nhiên, việc nghiên cứu sử dụng RFA từ khối xây gạch đỏ (gồm gạch đỏ và vữa xây) trong chế tạo bê tông tự lèn là rất hạn chế. Trong nghiên cứu này, tác giả đã tiến hành nghiên cứu sử dụng RFA từ phế thải khối xây gạch đỏ để làm cốt liệu nhỏ chế tạo BTTL có hàm lượng tro bay cao. Hàm lượng RFA được sử dụng thay thế 100% thể tích cát tự nhiên, hàm lượng tro bay sử dụng 50% khối lượng bột. Mục tiêu của nghiên cứu là sử dụng RFA từ khối xây gạch đỏ chế tạo BTTL có hàm lượng tro bay cao sử dụng cho các công trình có yêu cầu chịu lực không cao như mặt đường giao thông nông thôn, hoặc vỉa hè, đường dạo. Do đó, các đặc tính được đánh giá trong nghiên cứu bao gồm: tính công tác, cường độ nén, uốn, độ chống thấm ion clorua, độ mài mòn và hiệu quả kinh tế của BTTL.

2. Vật liệu, cấp phối, quy trình trộn BTTL và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu sử dụng

- Xi măng: Vicem Bút Sơn PCB40 (XM), lượng nước tiêu chuẩn: 28,5%, lượng sót trên sàng 0,09 mm: 2,4%, độ ổn định thể tích: 1,8 mm, thời gian bắt đầu ninh kết: 120 phút, thời gian kết thúc ninh kết: 240 phút, cường độ nén ở tuổi 3 ngày: 22,8 N/mm², cường độ nén ở độ tuổi 28 ngày: 45,2 N/mm². Xi măng phù hợp TCVN 6260:2020 [17].

- Cốt liệu nhỏ tự nhiên: Cát vàng Sông Lô, modul độ lớn 2,1, khối lượng riêng 2,60 g/cm³, khối lượng thể tích 1,49, độ hút nước 1,1%. Cốt liệu nhỏ đáp ứng yêu cầu kỹ thuật TCVN 7570:2006 [18].

- Cốt liệu nhỏ tái chế (RFA): modul độ lớn 3,8, khối lượng riêng 2,51 g/cm³, khối lượng thể tích 1,14 g/cm³, độ hút nước 28,4%. Bảng 1 thể hiện thành phần hạt của RFA và cát tự nhiên.

Bảng 1. Bảng thành phần hạt của RFA và cát tự nhiên

Loại cát	Lượng sót tích lũy của cát, %				
	0,14 (mm)	0,315 (mm)	0,63 (mm)	1,25 (mm)	2,5 (mm)
RFA	99,0	94,8	85,1	65,4	35,7
Cát tự nhiên	92,5	68,1	37,4	17,2	2,3

- Cốt liệu lớn tự nhiên: Đá Hà Nam, $D_{\max} = 20$ mm, khối lượng riêng 2,75 g/cm³, khối lượng thể tích 1,54 g/cm³. Cốt liệu lớn đáp ứng yêu cầu kỹ thuật TCVN 7570:2006 [18];

- Tro bay (TB): sử dụng tro bay nhiệt điện Phả Lại, tro bay loại F theo tiêu chuẩn TCVN 10303:2014 [19]. Bảng 2 thể hiện thành phần hóa của tro bay Phả Lại.

Bảng 2. Thành phần hoá của tro bay Phả Lại

Thành phần	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
%	54,38	18,96	6,23	2,8	1,05	0,3

- Phụ gia siêu dẻo (SD): sử dụng phụ gia siêu dẻo thể hệ mới loại BiFi-HV298, gốc Polymer cải tiến, có tỷ trọng 1,05. Phụ gia siêu dẻo phù hợp tiêu chuẩn ASTM C-494 loại G.

- Phụ gia biến tính độ nhớt (VMA): sử dụng loại Culminal loại MHPC400.

2.2. Sản xuất RFA từ khối xây gạch đỏ

RFA sử dụng trong nghiên cứu có nguồn gốc là phế thải khối xây gạch đỏ thu được từ phá dỡ các công trình. Các phế thải khối xây được phân loại riêng, sau đó được đập nhỏ thành các khối có kích thước các cạnh nhỏ hơn 25 cm. Sử dụng máy xúc đưa các khối tường xây gạch đỏ vào hệ thống máy nghiền. Các cốt liệu thu được sau khi qua hệ thống máy nghiền gồm cốt liệu lớn tái chế có kích thước hạt ≥ 5 mm và cốt liệu nhỏ tái chế (RFA) có kích thước hạt < 5 mm. Hình 1 thể hiện RFA được nghiền từ phế thải khối xây gạch đỏ.



(a) Phế thải khối xây gạch đỏ

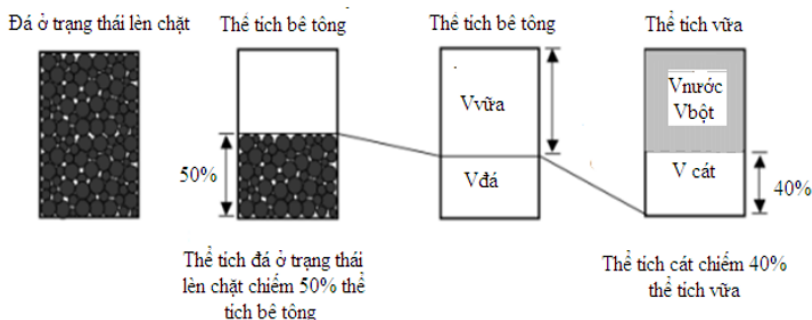


(b) RFA tái chế từ phế thải khối xây

Hình 1. RFA được nghiền từ khối xây gạch đỏ

2.3. Cấp phối bê tông thí nghiệm

Thiết kế thành phần cấp phối BTTL được thực hiện bằng phương pháp thực nghiệm theo hướng dẫn [20] và sử dụng lý thuyết thể tích tuyệt đối tính toán. Trong đó, cốt liệu lớn được cố định 50% thể tích bê tông, cốt liệu nhỏ chiếm 40% thể tích vữa, tỷ lệ Nước/Bột (N/B) và hàm lượng phụ gia siêu dẻo được điều chỉnh dựa trên các yêu cầu đảm bảo tính công tác. Tỷ lệ N/B theo thể tích thông thường từ 0,9–1. Hình 2 thể hiện nguyên lý xác định thành phần cấp phối BTTL theo hướng dẫn [20].



Hình 2. Tỷ lệ theo thể tích của các thành phần trong hỗn hợp BTTL

Trong nghiên cứu này, mục tiêu thiết kế cấp phối BTTL sử dụng RFA đạt giá trị cường độ nén từ 20-30 MPa. Trên cơ sở tham khảo kết quả khảo sát thực nghiệm cường độ nén theo tỷ lệ tro bay thay thế xi măng ở nghiên cứu [21]. Qua khảo sát sơ bộ tính công tác của hỗn hợp BTTL tại phòng thí nghiệm, tác giả chọn tỷ lệ theo khối lượng tro bay/bột (TB/B) = 0,5; tỷ lệ theo khối lượng N/B =

0,4. Trong nghiên cứu này, sử dụng 2 cấp phối để đánh giá các tính chất của BTTL. Trong đó, một cấp phối sử dụng cát tự nhiên (RFA0) và một cấp phối sử dụng cát tái chế (RFA100). Thành phần cấp phối BTTL được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần cấp phối BTTL

Cấp phối	XM (kg)	TB (kg)	Đá (kg)	Cát (kg)	RFA (kg)	Nước (kg)	SD (kg)	VMA (kg)
RFA0	264,1	264,1	770	748,8	0	211,3	2,64	0,25
RFA100	264,1	264,1	770	0	722,9	211,3	4,71	0,25

2.4. Quy trình trộn hỗn hợp BTTL

Tiến hành trộn hỗn hợp BTTL bằng máy trộn bê tông tự do có dung tích 150 lít. Trên cơ sở tham khảo quy trình trộn nêu ở tài liệu [15], kết hợp với đánh giá thực nghiệm ở phòng thí nghiệm, quy trình trộn BTTL được thực hiện như thể hiện Bảng 4.

Bảng 4. Quy trình trộn hỗn hợp BTTL

Bước	Nội dung quy trình	Thời gian trộn
1	Cấp 50% (nước + phụ gia hóa học) + 100% đá	1 phút
2	Cấp từ từ (xi măng + tro bay), trộn đều	1,5 phút
3	Cấp 100% cát + 50% (nước + phụ gia hóa học), trộn đều	5 phút
4	Dùng, kiểm tra đánh giá chất lượng bằng trực quan	5 phút
5	Trộn lại hỗn hợp nếu chưa đạt yêu cầu	5 phút
6	Đổ hỗn hợp bê tông ra máng	

2.5. Phương pháp thí nghiệm

a. Thí nghiệm tính công tác hỗn hợp BTTL được thực hiện theo TCVN 12209:2018 [22]

Các chỉ tiêu thí nghiệm tính công tác gồm: độ chảy loang SF , thời gian chảy T_{500} , thời gian chảy V_{funnel} , khả năng vượt qua J_{ring} , L_{box} và độ phân tầng S_r . Trong đó: độ chảy loang SF được xác định bằng đường kính trung bình của hỗn hợp BTTL khi chảy loang từ côn đo độ sụt tiêu chuẩn; T_{500} được xác định bằng thời gian chảy loang của hỗn hợp BTTL đạt tới đường kính 500 mm khi thí nghiệm bằng côn đo độ sụt tiêu chuẩn; khả năng chảy vượt qua (J_{ring}) được xác định bằng chênh lệch chiều cao hỗn hợp bê tông ở giữa tâm vòng và mép ngoài vòng J_{ring} ; khả năng vượt qua (L_{box}) được xác định bằng tỷ lệ giữa chiều cao hỗn hợp bê tông đo ở điểm cuối (H2) và điểm đầu (H1) của cạnh nằm ngang hộp L_{box} (H2/H1) sau khi hỗn hợp BTTL chảy qua; Khả năng vượt qua V_{funnel} được xác định bằng thời gian hỗn hợp BTTL chảy hết qua đáy phễu V; khả năng kháng phân tầng (S_r) của hỗn hợp BTTL được xác định bằng tỷ lệ khối lượng hỗn hợp BTTL chảy qua lỗ sàng vuông 5 mm. Bên cạnh đó, độ ổn định của hỗn hợp BTTL được kết hợp đánh giá thông qua chỉ số ổn định trực quan (VSI) theo hướng dẫn ASTM C1611 [23]. Bảng 5 thể hiện chỉ số ổn định trực quan (VSI).

b. Thí nghiệm xác định cường độ nén: Bê tông được đúc và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [24]

Mẫu bê tông có kích thước $10 \times 10 \times 10$ cm. Các mẫu đúc và bảo dưỡng ngay đầu ở điều kiện tiêu chuẩn, sau đó được ngâm trong nước từ ngày thứ 2. Thí nghiệm cường độ chịu nén theo TCVN 3118:2022 [25]. Mẫu được nén ở độ tuổi 28 ngày.

Bảng 5. Bảng giá trị chỉ số ổn định trực quan (VSI) [23]

Giá trị VSI	Độ ổn định	Tiêu chuẩn
0	Ổn định cao	Không có dấu hiệu phân tầng hoặc tách nước
1	Ổn định	Không có dấu hiệu phân tầng rõ ràng
2	Phân tầng	Vừa tách ở mép nhỏ (≤ 10 mm) hoặc cốt liệu lớn xếp chồng ở tâm vòng vừa
3	Phân tầng mạnh	Vừa tách ở mép lớn (> 10 mm), hoặc cốt liệu lớn tập trung ở tâm vòng vừa diện rộng

c. Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi uốn: Bê tông được đúc mẫu và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [24]

Các viên mẫu có kích thước $150 \times 150 \times 600$ mm. Thực hiện xác định cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông theo hướng dẫn của tiêu chuẩn TCVN 3119:2022 [26]. Hình 3 thể hiện thí nghiệm uốn mẫu BTTL.

d. Thí nghiệm tính thấm ion clorua: Thực hiện theo phương pháp RCPT theo hướng dẫn TCVN 9337:2012 [27]

Thí nghiệm được tiến hành bằng cách cho dòng điện một chiều chạy qua mẫu hình trụ có đường kính 100 mm 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 thấm ion clorua được đánh giá bằng cách đo điện lượng truyền qua mẫu trong khoảng thời gian 6 giờ.

e. Thí nghiệm khả năng chống mài mòn: Bê tông được đúc mẫu theo TCVN 3105:2022 [24]

Các viên mẫu có kích thước $70 \times 70 \times 70$ mm. Thực hiện xác định độ mài mòn của bê tông theo hướng dẫn của tiêu chuẩn TCVN 3114:2022 [28] tiêu chuẩn Việt Nam về phương pháp xác định độ mài mòn. Hình 4 thể hiện thí nghiệm xác định độ mài mòn của BTTL.



(a) Thí nghiệm uốn mẫu RFA100

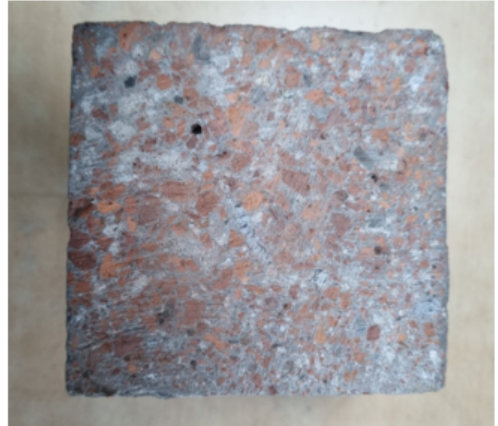


(b) Bề mặt phá hủy mẫu RFA100

Hình 3. Thí nghiệm uốn mẫu BTTL



(a) Thí nghiệm mài mòn mẫu RFA100



(b) Bề mặt sau mài mòn mẫu RFA100

Hình 4. Thí nghiệm mài mòn mẫu BTTL

3. Kết quả thí nghiệm và bình luận

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

Kết quả thí nghiệm các thông số tính công tác của hỗn hợp BTTL hai cấp phối RFA0 và RFA100 có giá trị tương ứng lần lượt là: độ chảy loang SF : 710 mm và 680 mm; thời gian chảy T_{500} : 3,3 s và 4,2 s; khả năng vượt qua J_{ring} : 9,3 mm và 9,8mm; khả năng vượt qua L_{box} : 0,92 và 0,85; thời gian chảy V_{funnel} : 9,7 s và 11,9 s; S_r : 8,5% và 6,7% (Bảng 6). Theo [29] giá trị SF cho phép 650÷800 mm, T_{500} cho phép 2÷5 s, J_{ring} cho phép 0÷10 mm, V_{funnel} cho phép 6÷12 s, độ phân tầng S_r cho phép 5÷15%. Các kết quả thí nghiệm cho thấy cả hai cấp phối RFA0 và RFA100 đều có tính công tác đáp ứng yêu cầu thi công. Các cấp phối đều có tính chảy khá tốt và không bị tắc nghẽn khi vượt qua các vật cản trong thí nghiệm J_{ring} , V_{funnel} và L_{box} . Đồng thời, đánh giá tính ổn định của hỗn hợp BTTL qua quan sát vòng vữa trong thí nghiệm đo độ chảy loang, cho thấy các hạt cốt liệu phân bố đều trên diện tích vòng vữa, không có bọt nước và tách nước. Đối chiếu với hướng dẫn ở bảng đánh giá VSI theo hướng dẫn [23] có thể xếp hỗn hợp BTTL có $VSI = 1$, hỗn hợp ổn định và không có dấu hiệu phân tầng rõ ràng. Hình 5 thể hiện thí nghiệm đo các thông số tính công tác hỗn hợp BTTL.



(a) Đo độ chảy loang (SF)



(b) Đo thời gian chảy (V_{funnel})

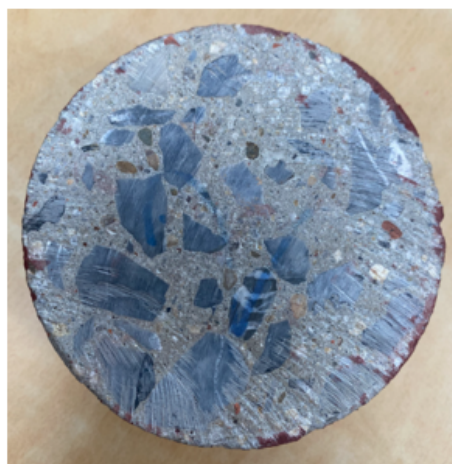
Hình 5. Thí nghiệm đo các thông số tính công tác hỗn hợp BTTL

Để đảm bảo tính công tác tính công tác hỗn hợp BTTL theo yêu cầu thi công [29], trong nghiên cứu này cấp phối RFA100 đã được tăng đáng kể hàm lượng phụ gia siêu dẻo. Cụ thể lượng phụ gia siêu dẻo đã được điều chỉnh tăng so với cấp phối RFA0 khoảng 68%. Bên cạnh đó, việc sử dụng tro bay hàm lượng cao với đặc điểm hình dạng tròn của hạt tro bay có tác dụng góp phần tăng cường tính công tác hỗn hợp BTTL do hiệu ứng ‘ổ bi’. Kết quả thí nghiệm ở Bảng 6 cho thấy độ chảy loang của hỗn hợp BTTL cấp phối RFA100 đạt 710 mm, chỉ giảm so với RFA0 khoảng 4,22%. Tuy nhiên, việc sử dụng RFA làm giảm độ nhớt của hỗn hợp BTTL thể hiện qua thông số thời gian chảy T_{500} tăng từ 3,3 s tăng lên 4,2 s; V_{funnel} tăng từ 9,7 s lên 11,9 s; đồng thời khả năng vượt qua của hỗn hợp BTTL có xu hướng giảm thể hiện qua thông số J_{ring} tăng từ 9,3 mm lên 9,8 mm và L_{box} giảm từ 0,92 xuống còn 0,85. Tính công tác hỗn hợp bê tông giảm khi sử dụng RFA nguyên nhân do độ hút nước cao của gạch đỏ và lớp vữa cũ (độ hút nước RFA 28,4%) làm cho hỗn hợp BTTL mất nước nhanh, dẫn đến giảm độ nhớt. Đồng thời với bề mặt góc cạnh không đều của RFA làm tăng ma sát hạn chế độ chảy loang và khả năng vượt qua của hỗn hợp BTTL [5, 6].

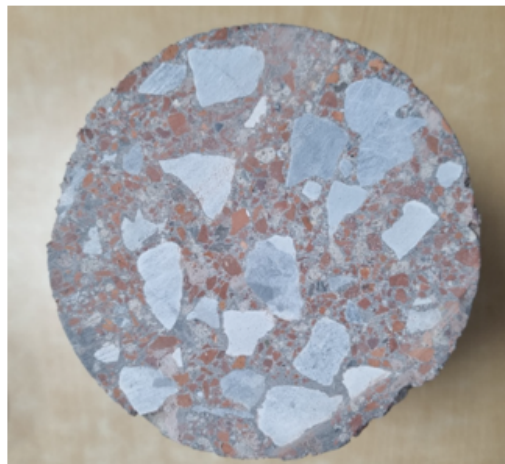
Bảng 6. Kết quả kiểm tra tính công tác BTTL

Cấp phối	SF (mm)	T_{500} (s)	V_{funnel} (s)	L_{box}	J_{ring} (mm)	S_r (%)
RFA0	710	3,3	9,7	0,92	9,3	8,5
RFA100	680	4,2	11,9	0,85	9,8	6,7

Bên cạnh đó, quan sát trực quan bề mặt của cả hai cấp phối RFA0 và RFA100 được cắt ở độ tuổi 28 ngày (Hình 6) có thể thấy các hạt cốt liệu phân bố khá đồng đều trên mặt cắt. Điều đó cho thấy hỗn hợp BTTL duy trì được tính ổn định và có độ kháng phân tầng khá tốt.



(a) Cấp phối BTTL RFA0



(b) Cấp phối BTTL RFA100

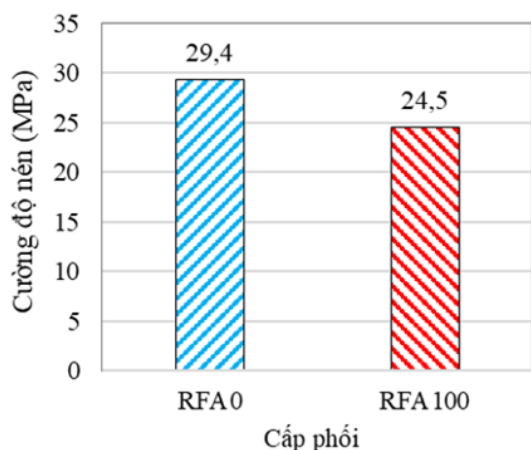
Hình 6. Mặt cắt mẫu BTTL ở độ tuổi 28 ngày

Theo TCVN 12209:2018 độ chảy loang của cấp phối RFA100 thuộc loại SF2 (660÷750 mm), có độ chảy loang trung bình; độ nhớt thuộc loại VS2/VF2 ($VS2 \geq 2s$ và $VF 9 \div 25 s$), độ phân tầng thuộc loại SR2 ($< 15\%$). Tính công tác của hỗn hợp BTTL sử dụng RFA có thể phù hợp cho các ứng dụng thông dụng trong xây dựng, có yêu cầu về hạn chế áp lực lên ván khuôn hoặc yêu cầu cần tăng cường về độ ổn định.

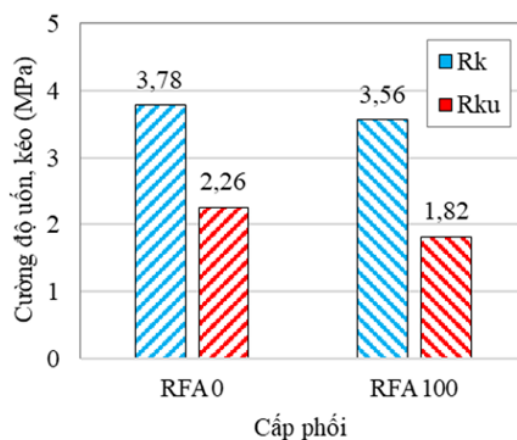
3.2. Kết quả thí nghiệm cường độ nén và uốn BTTL

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén thể hiện ở Hình 7 cho thấy việc sử dụng RFA làm giảm cường độ chịu nén của BTTL. Cường độ nén của mẫu RFA100 có giá trị 24,5 MPa, giảm so với mẫu đối chứng 16,60%. Nguyên nhân cường độ nén giảm khi sử dụng RFA cho BTTL do cường độ của gạch đỏ và lớp vữa sót lại trên bề mặt RFA thấp hơn so với cát tự nhiên.

Tương đồng với việc giảm cường độ nén khi sử dụng RFA, cường độ chịu kéo dọc trục (R_k) và cường độ kéo khi uốn (R_{ku}) của BTTL giảm khi sử dụng RFA. Cường độ chịu kéo dọc trục (R_k) và cường độ kéo khi uốn (R_{ku}) của cấp phối RFA100 lần lượt là 3,15 MPa và 1,82 MPa. Cường độ chịu kéo dọc trục của cấp phối RFA100 thấp hơn 5,82% so với cấp phối RFA0. Theo TCVN 3118:2022 [25] cấp phối RFA0 và RFA100 có giá trị cường độ chịu nén của bê tông lần lượt là 29,4 MPa và 24,5 MPa thì yêu cầu giá trị cường độ chịu uốn tương quan lần lượt là 3,53 MPa và 2,94 MPa. Kết quả thí nghiệm cho thấy các cấp phối RFA0 và RFA100 có giá trị cường độ chịu kéo khi uốn lần lượt là 3,78 MPa và 3,56 MPa, lớn hơn khoảng 6,6÷17,3% so với giá trị tiêu chuẩn yêu cầu nên đều đáp ứng được điều kiện cần thiết về tương quan giữa cường độ chịu uốn và nén. Hình 8 thể hiện kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn và chịu kéo dọc trục của BTTL.



Hình 7. Cường độ chịu nén BTTL



Hình 8. Cường độ chịu kéo khi uốn và chịu kéo dọc trục BTTL

Quan sát mặt cắt phá hủy các mẫu bê tông trong thí nghiệm uốn BTTL cho thấy cả hai cấp phối RFA0 và RFA100 mặt cắt phá hủy đều đi qua cốt liệu. Điều đó cho thấy sự liên kết tốt giữa lớp hồ xi măng và cốt liệu của BTTL ngay cả khi sử dụng hoàn toàn RFA thay thế cát tự nhiên.

3.3. Kết quả thí nghiệm thấm ion clorua và độ mài mòn của BTTL

Điện lượng truyền qua các mẫu RFA0 và RFA100 lần lượt là 768C và 2032C (Bảng 7). Kết quả thí nghiệm cho thấy việc sử dụng RFA làm tăng giá trị điện lượng truyền qua bê tông. Điện lượng truyền qua mẫu RFA100 tăng khoảng 164,6% so với mẫu RFA0. Nguyên nhân độ thấm ion clorua tăng do RFA tái chế từ khối xây có thành phần gạch đỏ là một loại cốt liệu rỗng nên làm tăng tổng độ rỗng của mẫu bê tông, dẫn đến các điện lượng dễ truyền qua bê tông nhiều hơn [11]. Điện lượng truyền qua BTTL của cấp phối RFA100 có giá trị nằm trong khoảng 2000÷4000C, theo TCVN 9337:2012 [27] cấp phối RFA100 thuộc loại có mức độ thấm trung bình.

Độ mài mòn của các cấp phối RFA0 và RFA100 lần lượt là 0,227 g/cm² và 0,279 g/m² (Bảng 7). So với mẫu đối chứng (RFA0), cấp phối RFA100 có độ mài mòn tăng 22,9%. Độ mài mòn của cấp phối RFA100 thấp hơn mẫu đối chứng được giải thích do độ mài mòn của bê tông chủ yếu phụ thuộc

vào độ mài mòn của cốt liệu mà ít phụ thuộc vào mác bê tông [30]. Trong khi đó, cát tự nhiên có cường độ cao hơn so với gạch đỏ nên độ mài mòn cho giá trị thấp hơn. Tuy nhiên, theo [30] cả hai cấp phối RFA0 và RFA100 đều thuộc loại bê tông có độ mài mòn thấp (giá trị 0,1–0,3 g/cm²).

Bảng 7. Bảng kết quả đo độ thấm ion clorua và độ mài mòn của BTTL

Cấp phối	Điện lượng truyền qua (C)	Độ mài mòn (g/cm ²)	% tăng điện lượng truyền qua	% tăng độ mài mòn
RFA0	768	0,227	0	0
RFA100	2032	0,279	164,6	22,9

3.4. Đánh giá chi phí sản xuất BTTL

Chi phí sản xuất là một yếu tố quan trọng để đánh giá tính hiệu quả của BTTL sử dụng RFA. Tác giả đã tiến hành tính toán chi phí sản xuất BTTL các cấp phối RFA0, RFA100 và bê tông truyền thống có cường độ nén M250 (BT250). Định mức cấp phối vật liệu cho bê tông BT250 (mã hiệu 11.11224) tra theo ĐM 12/2021 [31] của Bộ Xây dựng (Bảng 8). Giá vật tư được lấy theo công bố giá quý 1 năm 2024 trên địa bàn tỉnh Hà Nam và tham khảo giá vật tư trên thị trường tại thời điểm tính toán gồm: xi măng PCB40: 1.680.000 đồng/tấn, cát vàng: 503.580 đồng/m³, đá 1 × 2: 254.000 đồng/m³, tro bay: 250.000 đồng/tấn, phụ gia siêu dẻo: 25.000 đồng/lít, VMA: 100.000 đồng/kg. Chi phí sản xuất RFA bao gồm chi phí bốc xếp, vận chuyển, phân loại phế thải và nghiền. Tính toán chi phí sản xuất RFA được vận dụng theo hướng dẫn [32], kết quả có giá trị khoảng 318.438 đồng/m³. Bảng 9 thể hiện chi phí vật liệu trước thuế sản xuất BTTL và bê tông truyền thống. Bảng 10 thể hiện chi phí trước thuế sản xuất RFA.

Bảng 8. Định mức cấp phối vật liệu bê tông truyền thống BT250 [31]

Mã hiệu	Xi măng (kg)	Đá (m ³)	Cát (m ³)	Nước (lít)
11.11224	356	0,808	0,495	183

Bảng 9. Chi phí vật liệu của BTTL và bê tông truyền thống (đơn vị: đồng/m³)

Cấp phối	Xi măng	Tro bay	Đá	Cát hoặc RFA	Siêu dẻo	VMA	Nước	Tổng
RFA0	127.000	66.025	127.000	283.875	66.000	25.000	951	1.012.532
RFA100	127.000	66.025	127.000	170.085	117.750	25.000	951	950.498
BT250	205.232	0	205.232	262.721	0	0	824	1.066.857

Kết quả tính toán chi phí cho thấy chi phí vật liệu sản xuất bê tông của các cấp phối RFA0, RFA100, BT250 lần lượt là 1.012.532 đồng/m³, 950.498 đồng/m³, 1.066.857 đồng/m³. Sử dụng RFA giảm đáng kể chi phí vật liệu sản xuất BTTL, cụ thể: cấp phối RFA100 chi phí giảm so với RFA0 là 6,10%. Đồng thời, so với bê tông truyền thống có cường độ nén tương đương (BT250), chi phí vật liệu sản xuất cấp phối RFA100 giảm 10,88%. Nguyên nhân giảm chi phí sản xuất BTTL sử dụng RFA do giá cát tự nhiên khá đắt (khoảng 503.580 đồng/m³). Trong khi đó, chi phí sản xuất RFA chỉ có khoảng 318.438 đồng/m³. Bên cạnh đó, việc sử dụng tỷ lệ tro bay hàm lượng cao có giá thành khá thấp so với xi măng cũng góp phần đáng kể trong việc giảm chi phí sản xuất BTTL so với bê tông truyền thống có cường độ nén tương đương.

Bảng 10. Chi phí trước thuế sản xuất RFA từ khối xây gạch đỏ

TT	Thành phần hao phí	Đơn vị	Định mức	Đơn giá	Thành tiền
1	Máy nghiền 125 m ³ /h	ca	0,0019	8.356.914	15.878
2	Chi phí xúc lên phương tiện vận chuyển	m ³	1	33.810	33.810
3	Chi phí vận chuyển (tạm tính 26 km)	m ³	1	251.993	251.993
4	Nhân công 3/7	công	0,01196	267.026	3.194
5	Máy đào 1,25 m ³	ca	0,00328	3.802.802	12.473
6	Máy ủi 110CV	ca	0,00057	1.912.099	1.090
Tổng cộng		đồng/m ³			318.438

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy có thể chế tạo được hỗn hợp BTTL với cốt liệu nhỏ hoàn toàn bằng RFA từ khối xây gạch đỏ có tính công tác đáp ứng tốt các yêu cầu thi công bằng cách sử dụng tăng hàm lượng phụ gia siêu dẻo. Các đặc tính của BTTL sử dụng RFA từ khối xây gạch đỏ như sau:

- Cường độ chịu nén có giá trị 24,5 MPa, thấp hơn khoảng 16,60% so với BTTL sử dụng cát tự nhiên. Cường độ chịu kéo khi uốn có giá trị 3,56 MPa, thấp hơn khoảng 5,82% so với BTTL sử dụng cát tự nhiên.

- Độ thấm ion clorua thuộc loại trung bình, cao hơn khoảng 164,6% so với BTTL sử dụng cát tự nhiên. Độ mài mòn mẫu thuộc loại thấp, có giá trị là 0,279 g/cm², cao hơn khoảng 22,9% so với BTTL sử dụng cát tự nhiên.

- Chi phí vật liệu sản xuất thấp hơn BTTL sử dụng cát tự nhiên khoảng 6,10%. So với bê tông truyền thống có cường độ nén tương đương (M250), chi phí vật liệu sản xuất BTTL sử dụng RFA thấp hơn khoảng 10,88%.

BTTL sử dụng RFA từ khối xây gạch đỏ kết hợp với tro bay hàm lượng cao áp dụng phù hợp cho các kết cấu có yêu cầu cường độ chịu lực không cao như đường giao thông nông thôn (cường độ chịu nén yêu cầu từ 20÷30 MPa, độ mài mòn nhỏ hơn 0,6 g/cm²) hoặc hệ thống vỉa hè, đường dạo. Việc sử dụng RFA này sẽ góp phần quan trọng trong việc giảm chi phí sản xuất, tiết kiệm nguồn tài nguyên tự nhiên và góp phần bảo vệ môi trường sinh thái.

Tài liệu tham khảo

- [1] Bektas, F., Wang, K., Ceylan, H. (2009). [Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability](#). *Construction and Building Materials*, 23(5):1909–1914.
- [2] An, L. V., Tùng, N. X. (2023). Nghiên cứu ứng dụng bê tông sử dụng cốt liệu tái chế tại Việt Nam và kinh nghiệm từ Nhật Bản. *Tạp chí Giao thông vận tải*, 6:80–83.
- [3] Mohan, M., Apurva, A., Kumar, N., Ojha, A. (2020). [A Review on Use of Crushed Brick Powder as a Supplementary Cementitious Material](#). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 936 (1):012001.
- [4] Batayneh, M., Marie, I., Asi, I. (2007). [Use of selected waste materials in concrete mixes](#). *Waste Management*, 27(12):1870–1876.
- [5] Padmini, A. K., Ramamurthy, K., Mathews, M. S. (2002). [Relative moisture movement through recycled aggregate concrete](#). *Magazine of Concrete Research*, 54(5):377–384.
- [6] Paul, S. C., van Zijl, G. P. A. G. (2013). Mechanical and durability properties of recycled concrete aggregate for normal strength structural concrete. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 4(1):89–103.
- [7] Aliabdo, A. A., Abd-Elmoaty, A.-E. M., Hassan, H. H. (2014). [Utilization of crushed clay brick in concrete industry](#). *Alexandria Engineering Journal*, 53(1):151–168.

- [8] 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.
- [9] Khatib, J. M. (2005). [Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate](#). *Cement and Concrete Research*, 35(4):763–769.
- [10] Mora-Ortiz, R. S., Díaz, S. A., Del Angel-Meraz, E., Magaña-Hernández, F. (2022). [Recycled Fine Aggregates from Mortar Debris and Red Clay Brick to Fabricate Masonry Mortars: Mechanical Analysis](#). *Materials*, 15(21):7707.
- [11] Ge, Z., Feng, Y., Yuan, H., Zhang, H., Sun, R., Wang, Z. (2021). [Durability and shrinkage performance of self-compacting concrete containing recycled fine clay brick aggregate](#). *Construction and Building Materials*, 308:125041.
- [12] Hoang, P. D. H., Sang, N. T., Duc, V. B. (2020). Effect of recycled aggregate content from burnt clay bricks and waste concrete on mechanical properties of high strength concrete. *Transport and Communications Science Journal*, 71(8):944–955.
- [13] Lei, B., Yu, L., Chen, Z., Yang, W., Deng, C., Tang, Z. (2022). [Carbon Emission Evaluation of Recycled Fine Aggregate Concrete Based on Life Cycle Assessment](#). *Sustainability*, 14(21):14448.
- [14] Skarendahl, A., Petersson, O. (1999). PRO 7: 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. *RILEM publications*, 7:109–291.
- [15] Daczko, J. (2012). *Self-consolidating concrete: applying what we know*. CRC press.
- [16] Stankovic, T. (2007). Investigations as Regard New Technological Features of Concrete for the Construction of Modern Roads Structures. *Journal of Civil Engineering*, 15(2):10–19.
- [17] TCVN 6260:2009. *Xi măng poóc lăng hỗn hợp - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [18] TCVN 7570:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [19] TCVN 10303:2014. *Bê tông - Kiểm tra và đánh giá cường độ chịu nén*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [20] Okamura, H., Ozawa, K. Mix design for self-compacting concrete. *Concrete library of JSCE*, 25(6): 107–120.
- [21] Cuong, N. H. (2023). Đánh giá ban đầu sử dụng bê tông tự lên có hàm lượng tro bay cao trong thi công công trình đường giao thông nông thôn. *Tạp chí Giao thông vận tải*, 4/2023:107–109.
- [22] TCVN 12209:2018. *Bê tông tự lên - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [23] ASTM C1611/C1611M-05 (2009). *Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete*.
- [24] 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.
- [25] TCVN 3118:2022. *Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [26] TCVN 3119:2022. *Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [27] 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.
- [28] TCVN 3114:2022. *Bê tông - Phương pháp xác định độ mài mòn*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [29] TCVN 12632:2020. *Bê tông tự lên - Thi công và nghiệm thu*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [30] Quyết định 778/1998/QĐ-BXD (1998). *Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại*. Bộ Xây dựng Việt Nam.
- [31] Thông tư 12/2021/TT-BXD, ngày 31/08/2021 (2021). *Ban hành định mức xây dựng*. Bộ Xây dựng Việt Nam.
- [32] Số 196/CB-SXD (2016). *Định mức dự toán đặc thù khai thác, chế biến đá, cát, sỏi các loại*. Sở Xây dựng tỉnh Điện Biên.