

ỨNG DỤNG BÊ TÔNG CỐT LIỆU TÁI CHẾ CHO CẤU KIỆN BÊ TÔNG ĐÚC SẴN: CƠ HỘI VÀ THÁCH THỨC TẠI VIỆT NAM

Vũ Chung Hiếu¹, Nguyễn Đức Nhân², Nguyễn Hoàng Giang³, Nguyễn Ngọc Tân⁴

¹Trường Đại học Phương Đông

^{2,3,4}Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Email: ¹vuhieudhpd@gmail.com, 0985 224 885; ²nhan100798@gmail.com, 0949 410 798

³giangnh@huce.edu.vn, 0932 247 588; ⁴tanmn@huce.edu.vn, 0942 158 768

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses1-10>

TÓM TẮT: Trước yêu cầu phát triển bền vững trong ngành xây dựng, việc quản lý và tái chế chất thải rắn xây dựng (CTRXD) ngày càng nhận được sự quan tâm. Một giải pháp kỹ thuật đã được nghiên cứu và ứng dụng ở nhiều nước trên thế giới đó là sản xuất cốt liệu tái chế (CLTC) từ CTRXD nhằm thay thế một phần hoặc toàn bộ cốt liệu tự nhiên trong sản xuất bê tông cốt liệu tái chế (BTCLTC). Tuy nhiên, chất lượng và tỷ lệ thay thế CLTC ảnh hưởng trực tiếp đến các tính chất cơ học của BTCLTC (như cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi), từ đó quyết định khả năng chịu lực của kết cấu và độ bền vững của công trình. Bài báo này trình bày các kết quả phân tích về tính khả thi của việc ứng dụng CLTC và BTCLTC đối với các loại cấu kiện bê tông đúc sẵn (BTĐS) thường được sử dụng cho công trình xây dựng và công trình hạ tầng kỹ thuật. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng nêu ra những cơ hội, cũng như những thách thức về kỹ thuật, chính sách, chi phí kinh tế và nhận thức xã hội khi ứng dụng BTCLTC. Từ đó, một số đề xuất được kiến nghị thực hiện nhằm ứng dụng rộng rãi hơn CLTC và BTCLTC cho các cấu kiện BTĐS, góp phần phát triển công trình xanh và hiện thực hóa mục tiêu kinh tế tuần hoàn trong ngành xây dựng tại Việt Nam.

TỪ KHÓA: Bê tông cốt liệu tái chế; Cấu kiện bê tông đúc sẵn; Chất thải rắn xây dựng; Kinh tế tuần hoàn trong xây dựng.

ABSTRACT: In response to the growing demand for sustainable development in the construction industry, construction and demolition waste (CDW) management and recycling have been receiving increasing attention. One promising technical solution that has been researched and applied in many countries is the production of recycled aggregates (RA) from CDW to partially or fully replace natural aggregates in recycled aggregate concrete (RAC). However, the quality and replacement ratio of RA have a direct influence on the mechanical properties of RAC, such as compressive strength and elastic modulus, thereby affecting the structural load-bearing capacity and durability of concrete structures. This paper presents an analysis of the feasibility of using RA and RAC in various types of precast concrete components commonly employed in building and infrastructure projects. In addition, the study highlights the opportunities as well as the technical, regulatory, economic, and social challenges associated with the use of RAC. Based on these findings, several recommendations are proposed to promote the broader application of RA and RAC in precast concrete components, contributing to the development of green construction and the realization of circular economy goals in Vietnam's construction sector.

KEYWORDS: Recycled Aggregate Concrete; Precast Concrete Elements, Construction and Demolition Waste; Circular Economy in Construction.

1. MỞ ĐẦU

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện và chứng minh tính khả thi của việc sử dụng CLTC trong chế tạo bê tông, thường gọi là bê tông cốt liệu tái chế [1-4]. BTCLTC có thể đạt các tính chất cơ học tương đương với bê tông nặng thông thường nếu được thiết kế cấp phối hợp lý hoặc bổ

sung thành phần phụ gia khoáng và phụ gia hóa học [3]. Tuy vậy, BTCLTC vẫn tồn tại một số hạn chế như độ hút nước cao, độ rỗng lớn, độ bám dính yếu giữa hồ xi măng và cốt liệu, dẫn đến giảm cường độ chịu kéo và khả năng chống thấm so với bê tông thông thường [4, 5]. Gần đây, Castano và Abdel-Mohti (2024) [6] đã nghiên cứu ảnh hưởng

của CLTC đến tính chất của hỗn hợp và cường độ của bê tông ở tuổi sớm, cho thấy khả năng ứng dụng trong sản xuất cấu kiện bê tông đúc sẵn.

Tại Việt Nam, ngành xây dựng hiện đang đối mặt với thách thức lớn trong việc giảm thiểu tác động môi trường và hướng tới phát triển bền vững. Quá trình đô thị hóa nhanh chóng đã dẫn đến sự gia tăng đáng kể lượng CTRXD, gây áp lực lên hệ thống quản lý chất thải và tài nguyên tự nhiên. Các nghiên cứu gần đây tại Việt Nam đã chứng minh tính khả thi của việc sử dụng CLTC trong sản xuất BTCLTC. Đức và cs. (2023) [1] đã đề xuất phương pháp thiết kế cấp phối bê tông sử dụng CLTC chất lượng thấp, đồng thời đảm bảo các yêu cầu về tính chất cơ học của bê tông kết cấu. Tuy nhiên, việc ứng dụng BTCLTC trong các cấu kiện BTĐS tại Việt Nam vẫn còn gặp nhiều thách thức, bao gồm: thiếu hụt các tiêu chuẩn kỹ thuật, chi phí sản xuất cao hơn do công nghệ xử lý CLTC chưa phát triển, và nhận thức xã hội về chất lượng của BTCLTC còn hạn chế. Do đó, cần thực hiện nhiều nghiên cứu và đề xuất giải pháp nhằm thúc đẩy việc ứng dụng rộng rãi BTCLTC trong ngành xây dựng, đặc biệt là trong sản xuất các cấu kiện BTĐS, góp phần hiện thực hóa mục tiêu phát triển bền vững và kinh tế tuần hoàn.

Trong bối cảnh, nhu cầu sử dụng vật liệu bê tông ngày càng tăng cao, trong khi đó lượng CTRXD cũng không ngừng gia tăng. Tổng lượng chất thải rắn đô thị trung bình khoảng 60 nghìn tấn/ngày, trong đó CTRXD chiếm tới 10 - 12% tổng lượng chất thải [7]. Thực tế theo số liệu thống kê năm 2009 mới chỉ có 1 - 2% lượng CTRXD được sử dụng để tái chế [8]. Phần lớn lượng chất thải này chưa được tái sử dụng hoặc tái chế một cách hợp lý, mà chủ yếu được xử lý bằng hình thức chôn lấp hoặc đổ bỏ không kiểm soát, vừa gây lãng phí tài nguyên, vừa tác động tiêu cực đến cảnh quan đô thị, môi trường đất, nước và không khí. Do đó, việc nghiên cứu và áp dụng các giải pháp nhằm tái sử dụng và tái chế CTRXD trở thành một yêu cầu cấp thiết. Một trong những hướng đi khả thi là nghiền CTRXD để sản xuất CLTC, sử dụng thay thế một phần hoặc toàn bộ cốt liệu tự nhiên (CLTN) trong sản xuất bê tông. Xu hướng này phù hợp với mô hình kinh tế tuần hoàn đang được Chính phủ Việt Nam khuyến khích áp dụng trong nhiều ngành công nghiệp, bao gồm cả xây dựng.

Một số nghiên cứu đã được thực hiện để kiểm tra tính chất cơ lý và ứng dụng của CLTC [9-15]. Ví dụ, nghiên cứu của Kiên và cs. [13] cho thấy cho thấy khi thay thế CLTN bằng 100% CLTC thì

cường độ chịu nén của BTCLTC giảm từ 22,5 - 24,2%. Tuy nhiên, khi sử dụng 25% xỉ lò cao nghiền mịn thay thế một phần xỉ măng có thể cải thiện cường độ chịu nén của BTCLTC, tăng từ 20 - 28% ở 28 ngày tuổi và 33,8 - 40% ở 91 ngày tuổi. Quang và cs. [16] đã nghiên cứu về ảnh hưởng của tỷ lệ sử dụng cốt liệu lớn tái chế (CLLC) đến sự phát triển cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi của BTCLTC. Nghiên cứu này chỉ ra rằng, cường độ chịu nén của BTCLTC giảm từ 9,5 - 16% so với bê tông đối chứng khi sử dụng lần lượt 50% và 100% CLLC. Trong khi đó, mô đun đàn hồi của BTCLTC ở 28 ngày tuổi giảm nhiều hơn, từ 12,8 - 24,2% so với bê tông đối chứng. Đồng thời, kết quả nghiên cứu còn chỉ ra mối quan hệ giữa tỷ lệ giảm mô đun đàn hồi và tỷ lệ sử dụng CLLC gần như là tuyến tính. Gần đây, Dũng và cs. [15] đã chứng minh rằng cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi của BTCLTC đạt giá trị cao nhất khi tỷ lệ nước/xỉ măng (N/X) trong khoảng 0,3 - 0,4 và hàm lượng CLLC nhỏ hơn 50%. Mặc dù vậy, phần lớn các nghiên cứu vẫn chỉ dừng lại ở quy mô phòng thí nghiệm, chưa được ứng dụng rộng rãi trong thực tiễn, đặc biệt là trong lĩnh vực sản xuất các cấu kiện BTĐS.

Một trong những rào cản lớn cho việc ứng dụng BTCLTC tại Việt Nam là sự thiếu hụt hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật và quy định pháp lý hỗ trợ. Hiện nay, nước ta mới chỉ ban hành một số tiêu chuẩn liên quan đến CLTC như [16, 17]. Đáng chú ý, tiêu chuẩn TCVN 11969:2018 [16] quy định các chỉ tiêu kỹ thuật đối với CLLC dùng trong sản xuất bê tông. Tuy nhiên, hệ thống tiêu chuẩn hiện hành chưa đề cập đến các chỉ tiêu đặc thù đối với bê tông đúc sẵn từ CLTC, chẳng hạn như khả năng chịu tải trọng động, biến dạng dài hạn (co ngót, từ biến) và khả năng bám dính giữa cốt thép và BTCLTC. Mặc dù còn hạn chế về mặt quy chuẩn, một số nghiên cứu cũng đã được thực hiện để tìm hiểu về ứng xử của các cấu kiện bê tông được làm từ CLTC. Kiên và cs. [18] đã nghiên cứu việc sử dụng CLTC và chất kết dính xi măng để chế tạo dầm bê tông cốt thép. Kết quả cho thấy chất kết dính xi măng có thể thay thế hoàn toàn xi măng, giúp tăng các đặc trưng cơ học, tuy nhiên, số lượng vết nứt và bề rộng vết nứt khi chịu tải trọng cải thiện không đáng kể. Nghiên cứu của Tân và cs. [19] chỉ ra rằng khả năng chịu uốn của dầm BTCT sử dụng CLTC có thành phần gạch bị suy giảm đáng kể, với khả năng chịu uốn giảm đến 50,5% so với dầm đối chứng. Cường và cs. [20] đã sử dụng cốt liệu tổng hợp được chế tạo từ cốt liệu

nhỏ tái chế để sản xuất BTCLTC và ứng dụng cho đầm BTCT. Kết quả nghiên cứu này chỉ ra, khả năng chịu uốn của đầm bị suy giảm không đáng kể, khoảng 4,5% so với đầm đối chứng, tuy nhiên độ võng tăng lên đáng kể, đến 44% khi sử dụng 100% cốt liệu tổng hợp. Quang và cs. [21] đã nghiên cứu ứng xử chịu nén đứng tâm của cột BTCT chế tạo bằng BTCLTC. Kết quả cho thấy khả năng chịu lực của cột BTCLTC giảm từ 6,3% đến 7,7% so với cột đối chứng khi sử dụng 50% và 100% CLLTC. Cho đến nay, chưa có các nghiên cứu sử dụng BTCLTC cho cầu kiện BTĐS.

Do đó, bài báo này được thực hiện nhằm làm rõ tiềm năng và những thách thức trong việc ứng dụng BTCLTC cho các cầu kiện BTĐS tại Việt Nam. Bài báo sẽ tập trung tổng hợp các nghiên cứu trong và ngoài nước về BTCLTC, phân tích hiện trạng công nghệ, tiêu chuẩn và thị trường, đồng thời đánh giá các rào cản về kỹ thuật, pháp lý và kinh tế khi triển khai BTCLTC trong sản xuất. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất một số giải pháp kỹ thuật và chính sách nhằm thúc đẩy ứng dụng BTCLTC, góp phần phát triển ngành xây dựng theo hướng bền vững và giảm thiểu tác động môi trường từ CTRXD.

2. SẢN XUẤT BÊ TÔNG CỐT LIỆU TÁI CHẾ: TỪ CTRXD ĐẾN CẦU KIẾN BTĐS

2.1. Cốt liệu tái chế (CLTC)

Theo TCVN 11969:2018 [16], CLTC là loại cốt liệu thu được từ quá trình xử lý, tái chế phế thải xây dựng. Nói cách khác, CLTC là vật liệu dạng hạt hình thành qua các công đoạn nghiền, sàng và xử lý các loại phế thải xây dựng như bê tông cũ, gạch vỡ, đá vụn... được thu hồi từ các công trình phá dỡ. Đây là một trong những dạng vật liệu tái sử dụng phổ biến nhất trong ngành xây dựng, có

thể thay thế một phần hoặc toàn bộ cốt liệu tự nhiên (cát, sỏi, đá dăm) trong sản xuất bê tông, vữa hoặc các sản phẩm vật liệu xây không nung. Việc sử dụng CLTC giữ vai trò quan trọng trong chiến lược phát triển vật liệu xây dựng bền vững.

Về phân loại, CLTC thường được chia thành hai nhóm chính theo kích thước: cốt liệu lớn tái chế (kích thước ≥ 5 mm) và cốt liệu nhỏ tái chế (kích thước < 5 mm). Ngoài ra, CLTC có nguồn gốc từ CTRXD, thường được phân thành ba loại chính: (1) Cốt liệu bê tông tái chế có thành phần chính là bê tông cũ; (2) Cốt liệu gạch tái chế có thành phần chính là gạch vỡ; (3) Cốt liệu tái chế hỗn hợp gồm bê tông cũ và gạch vỡ. Việc phân loại có vai trò quan trọng trong việc lựa chọn phương án sử dụng phù hợp với yêu cầu kỹ thuật và mục đích ứng dụng cụ thể.

Chất lượng của cốt liệu tái chế được đánh giá thông qua các chỉ tiêu cơ lý như khối lượng thể tích, độ hút nước, độ bền va đập (Los Angeles), hàm lượng hạt yếu và hàm lượng tạp chất nhẹ (như gỗ, nhựa, thạch cao). So với cốt liệu tự nhiên, CLTC thường có khối lượng riêng thấp hơn, độ hút nước cao hơn và độ bền cơ học kém hơn do sự hiện diện của hồ xi măng cũ và các tạp chất bám dính. Đối với mỗi loại, chất lượng của CLTC thường được đánh giá dựa trên một số chỉ tiêu chính như: khối lượng thể tích, độ hút nước và độ hao mòn Los Angeles. Tuy nhiên, với quy trình xử lý phù hợp và kiểm soát chất lượng chặt chẽ, CLTC hoàn toàn có thể đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật trong nhiều ứng dụng xây dựng, đặc biệt là bê tông không chịu lực hoặc bê tông đúc sẵn thông dụng. Hiện nay, các nghiên cứu ở trên thế giới và trong nước tiếp tục thực hiện nhằm đề xuất các phương pháp để cải thiện chất lượng CLTC.



Hình 1: Quy trình sản xuất từ CTRXD đến cầu kiện BTĐS

2.2. Bê tông cốt liệu tái chế

Bê tông cốt liệu tái chế là loại bê tông trong đó một phần hoặc toàn bộ CLTN (cốt liệu nhỏ và cốt liệu lớn) được thay thế bằng CLTC có nguồn gốc

từ CTRXD (bê tông cũ, gạch vỡ...) và phụ phẩm công nghiệp (tro bay, xỉ lò cao, silica fume) thay thế một phần chất kết dính xi măng. Việc sử dụng CLTC góp phần giảm khai thác tài nguyên tự nhiên, hạn chế chôn lấp CTRXD, đồng thời hướng

tới mục tiêu phát triển bền vững và kinh tế tuần hoàn. So với CLTN, CLTC có độ hút nước cao hơn, độ rỗng lớn hơn và cường độ cơ học thấp hơn [4,5]. Những đặc trưng này ảnh hưởng trực tiếp đến ứng xử cơ học và các tính chất cơ lý của BTCLTC. Do đó, khi thiết kế cấp phối tối ưu và bổ sung các phụ gia khoáng hoạt tính, sẽ cải thiện tính chất của BTCLTC nhằm đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông kết cấu sử dụng cho công trình xây dựng.

Tương tự như bê tông thông thường, chất lượng của BTCLTC cũng được kiểm tra thông qua các chỉ tiêu kỹ thuật như độ sụt, cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi. Các tính chất này liên quan trực tiếp đến loại CLTC, chất lượng và tỷ lệ thay thế trong thành phần cấp phối của bê tông. Chất lượng của CLTC càng thấp thì ảnh hưởng càng tiêu cực chất lượng của BTCLTC, dẫn đến suy giảm cường độ cơ học (cường độ chịu nén, chịu kéo, chịu uốn), suy giảm mô đun đàn hồi và các tính chất độ bền vững (độ rỗng, khả năng chống thấm).

Bên cạnh đó, tỷ lệ thay thế cốt liệu tái chế (CLTC) trong thành phần cấp phối bê tông là yếu tố quan trọng quyết định đến chất lượng của BTCLTC. Gần đây, tiêu chuẩn EC2 (2023) [22] quy định có thể sử dụng BTCLTC có cường độ chịu nén đến 50 MPa cho kết cấu bê tông cốt thép (BTCT). Khi tỷ lệ thay thế CLTC không lớn hơn 20% tổng lượng cốt liệu thì các tính chất cơ học của bê tông hầu như không thay đổi. Trong khoảng 20% đến 40% tổng lượng cốt liệu, cần hiệu chỉnh các thông số cơ học theo công thức đề xuất hoặc thông qua thí nghiệm. Ngược lại, khi tỷ lệ thay thế vượt quá 40%, bắt buộc phải tiến hành thí nghiệm kiểm tra tính chất cơ học của BTCLTC. Trên thực tế, ở các tỷ lệ thay thế cao, cần áp dụng biện pháp xử lý nhằm cải thiện chất lượng CLTC hoặc điều chỉnh thành phần cấp phối (tỷ lệ N/X) để hạn chế sự suy giảm các đặc tính cơ học của BTCLTC.

Ngoài ra, việc sử dụng các loại phụ gia khoáng như tro bay, silica fume, xi lò cao để thay thế một

phần xi măng, cải tiến trong quy trình trộn bê tông, cũng như chế độ bảo dưỡng và điều kiện thi công, cũng góp phần cải thiện chất lượng của BTCLTC, bao gồm độ sụt (tính công tác), cường độ chịu nén, giảm độ co ngót, tăng khả năng chống thấm của BTCLTC. Đặc biệt, việc kiểm soát lượng nước và chế độ bảo dưỡng cần được chú trọng để giảm độ co ngót, hạn chế nguy cơ xuất hiện vết nứt sớm trên cấu kiện. Như vậy, để đảm bảo chất lượng của BTCLTC, việc kiểm tra chất lượng CLTC, lựa chọn tỷ lệ thay thế CLTC và quan tâm đến thiết kế cấp phối và quy trình chế tạo là hết sức cần thiết.

2.3. Cấu kiện bê tông đúc sẵn

Tại Việt Nam, việc nghiên cứu và ứng dụng BTCLTC vẫn còn hạn chế, chủ yếu giới hạn trong phạm vi thử nghiệm trên các cấu kiện riêng lẻ và chưa được triển khai rộng rãi trong các kết cấu xây dựng thực tế. Một số cơ sở nghiên cứu như Viện Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh cùng các trường đại học kỹ thuật khác đã thực hiện các nghiên cứu nhằm ứng dụng CLTC trong chế tạo các sản phẩm bê tông, tiêu biểu như gạch không nung, bó vỉa và gần đây là cọc ly tâm ứng suất trước.

Bên cạnh đó, một số doanh nghiệp trong nước đã bắt đầu tiếp cận công nghệ tái chế CTRXD để sản xuất cốt liệu tái chế phục vụ các công trình hạ tầng không chịu tải trọng lớn như đường giao thông nông thôn, sân bãi hoặc các hạng mục phụ trợ. Tại các đô thị lớn như Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh, cốt liệu tái chế đã được sử dụng làm vật liệu đắp nền đường hoặc sản xuất gạch block không nung, góp phần giải quyết áp lực ngày càng gia tăng từ lượng CTRXD phát sinh. Tuy vậy, việc ứng dụng BTCLTC trong các cấu kiện BTĐS chịu lực vẫn còn hạn chế, do những lo ngại về chất lượng vật liệu, thiếu hụt tiêu chuẩn kỹ thuật đồng bộ và sự chậm trễ trong quá trình chuyển giao công nghệ.



a) Gạch bê tông



b) Dải phân cách



c) Tấm sàn



d) Cọc bê tông ly tâm

Hình 2: Minh họa một số sản phẩm BTĐS

BTĐS là các cấu kiện được sản xuất trong nhà máy với quy trình kiểm soát nghiêm ngặt, sau đó vận chuyển và lắp đặt tại công trường. So với bê tông đổ tại chỗ, BTĐS cho phép đẩy nhanh tiến độ thi công, nâng cao chất lượng, giảm lãng phí vật liệu và thúc đẩy công nghiệp hóa ngành xây dựng. Tùy theo chức năng, vị trí và công nghệ chế tạo, BTĐS có thể được phân loại thành các nhóm cấu kiện chịu lực - không chịu lực, cấu kiện phần ngầm - phần thân - phần mái, hoặc cấu kiện có - không ứng suất trước. Hiện nay, BTĐS đang được ứng dụng rộng rãi trong xây dựng nhà ở xã hội, công trình lắp ghép, nhà công nghiệp và các dự án hạ tầng kỹ thuật.

Trong bối cảnh đó, BTCLTC là một vật liệu thay thế tiềm năng trong sản xuất BTĐS, đặc biệt cho các cấu kiện không chịu lực hoặc chịu tải trọng thấp. Nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước đã chứng minh khả năng thay thế một phần hoặc toàn bộ CLTN bằng CLTC trong các sản phẩm như gạch block, tấm lát, bó vỉa và cọc ly tâm. Nghiên cứu của Nguyễn Xuân Hiền (2024) cũng ghi nhận hiệu quả tích cực khi sử dụng BTCLTC trong tấm lát bê tông vỉa hè, đồng thời đề xuất mô hình tính toán phù hợp với nền đàn hồi. Các kết quả thực nghiệm cho thấy BTCLTC đáp ứng tốt yêu cầu về độ bền, khả năng thi công và tính ổn định trong môi trường sử dụng.

Tổng hợp các kết quả nghiên cứu cho thấy, BTCLTC hoàn toàn có thể ứng dụng trong sản xuất cấu kiện BTĐS. Việc triển khai trước hết nên tập trung vào các cấu kiện không chịu lực hoặc chịu tải trọng thấp như hạ tầng cảnh quan, sau đó có thể mở rộng sang các cấu kiện chịu lực đơn giản. Để hiện thực hóa tiềm năng này, cần sự phối hợp chặt chẽ giữa cơ quan quản lý, viện nghiên cứu và doanh nghiệp trong việc hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật, kiểm soát chất lượng cốt liệu tái chế và thúc đẩy đầu tư vào công nghệ sản xuất hiện đại. Trong tương lai, với sự phát triển của công nghệ tái chế, cải tiến cấp phối bê tông và khung pháp lý đồng bộ, BTCLTC có thể trở thành giải pháp bền vững, góp phần giảm thiểu tác động môi trường và nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên trong ngành xây dựng Việt Nam.

3. ỨNG DỤNG BÊ TÔNG CỐT LIỆU TÁI CHẾ: CƠ HỘI - THÁCH THỨC - ĐỀ XUẤT

3.1. Cơ hội

Việt Nam hiện đang đứng trước nhiều cơ hội thuận lợi để thúc đẩy ứng dụng BTCLTC trong

ngành xây dựng. Trước hết, tiềm năng tái chế CTRXD là rất lớn. Với tốc độ đô thị hóa nhanh, các hoạt động phá dỡ, cải tạo và xây dựng mới tạo ra khối lượng CTRXD khổng lồ, đặc biệt tại các thành phố lớn. Đây là nguồn tài nguyên thứ cấp có thể được khai thác hiệu quả để sản xuất CLTC, góp phần giảm thiểu áp lực lên tài nguyên tự nhiên và hệ thống các bãi chôn lấp chất thải tập trung.

Bên cạnh đó, xu hướng phát triển công trình xanh và kinh tế tuần hoàn đang ngày càng được quan tâm trong các chính sách và chiến lược phát triển bền vững quốc gia. Việc sử dụng vật liệu tái chế như BTCLTC phù hợp với mục tiêu giảm phát thải khí nhà kính, tiết kiệm tài nguyên và hạn chế chất thải ra môi trường. Nhiều hệ thống đánh giá công trình xanh quốc tế và trong nước như LEED, LOTUS hay EDGE đều khuyến khích sử dụng vật liệu có nguồn gốc tái chế nhằm nâng cao tính bền vững và giá trị gia tăng cho dự án xây dựng.

Cuối cùng, hành lang pháp lý và tiến bộ công nghệ hiện nay đang tạo nền tảng thuận lợi cho việc phát triển và ứng dụng BTCLTC. Về chính sách, Nhà nước đã ban hành nhiều văn bản quan trọng như: Quyết định số 222/QĐ-TTg (2025) [23] về Kế hoạch hành động quốc gia thực hiện kinh tế tuần hoàn; Quyết định số 179/QĐ-TTg (2024) [24] về Chiến lược phát triển ngành Xây dựng; Quyết định số 1658/QĐ-TTg (2021) [25] và Quyết định số 882/QĐ-TTg [26] về Chiến lược và Kế hoạch tăng trưởng xanh; Quyết định số 450/QĐ-TTg (2022) [27] về Chiến lược bảo vệ môi trường; Chỉ thị 41/CT-TTg (2020) [28] về quản lý chất thải rắn. Về công nghệ, các quy trình nghiền, phân loại và xử lý cốt liệu tái chế đang được cải tiến mạnh mẽ, giúp nâng cao chất lượng CLTC, đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật và kiểm soát tốt tính chất của BTCLTC trong sản xuất các cấu kiện BTĐS.

3.2. Thách thức

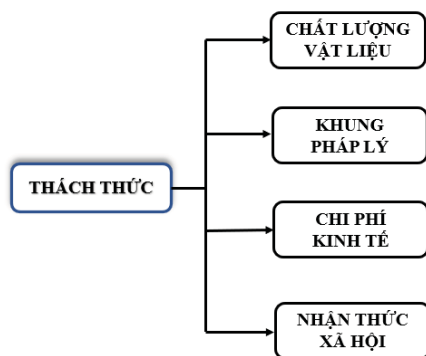
Mặc dù tiềm năng ứng dụng BTCLTC là rất lớn, song quá trình triển khai thực tế vẫn gặp phải nhiều rào cản kỹ thuật và xã hội. Một trong những thách thức đáng kể là chất lượng và độ đồng nhất của CLTC hiện còn thấp và không ổn định. CLTC tại Việt Nam chủ yếu được thu gom từ các nguồn CTRXD hỗn hợp, chưa được phân loại tại nguồn, dẫn đến hàm lượng tạp chất cao, độ rỗng lớn và khả năng biến động về tính chất cơ lý. Những yếu tố này ảnh hưởng trực tiếp đến tính công tác, cường độ và độ bền lâu dài của bê tông thành phẩm.

Bên cạnh đó, hệ thống tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật liên quan đến CLTC và BTCLTC vẫn

chưa hoàn thiện và đồng bộ. Hiện nay mới chỉ có 2 tiêu chuẩn về cốt liệu tái chế được ban hành [16,17], trong khi các tiêu chuẩn về thiết kế, thi công và nghiệm thu chất lượng bê tông sử dụng CLTC còn thiếu hoặc chưa đồng bộ. Sự thiếu hụt này gây khó khăn cho các đơn vị tư vấn thiết kế và nhà thầu xây dựng trong việc lựa chọn vật liệu và kiểm tra chất lượng sản phẩm sử dụng trong công trình.

Ngoài các yếu tố kỹ thuật, chi phí đầu tư ban đầu cũng là một trở ngại lớn. Việc xây dựng hệ thống thu gom, phân loại và xử lý CTRXD đòi hỏi đầu tư vào máy móc, thiết bị và nguồn nhân lực. Đồng thời, quy trình thiết kế cấp phối cho BTCLTC thường cần thời gian và chi phí dành cho công tác nghiên cứu thực nghiệm cần đầu tư một cách toàn diện để đảm bảo độ tin cậy và hiệu quả sử dụng vật liệu BTCLTC trong các công trình thực tế.

Cuối cùng, nhận thức xã hội và thói quen xây dựng truyền thống còn là một rào cản quan trọng. Nhiều chủ đầu tư và đơn vị thi công vẫn còn tâm lý e ngại đối với vật liệu tái chế, lo ngại về độ bền và khả năng đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Việc thiếu thông tin, hướng dẫn và minh chứng thực nghiệm cũng khiến việc chấp nhận BTCLTC trên thị trường xây dựng gặp nhiều khó khăn.



Hình 3: Các thách thức khi sử dụng BTCLTC

3.3. Đề xuất

Để thúc đẩy việc ứng dụng rộng rãi CLTC và BTCLTC trong các cấu kiện BTĐS tại Việt Nam, cần triển khai đồng bộ các giải pháp về kỹ thuật, công nghệ, chính sách và nâng cao nhận thức xã hội.

Đến nay, tiêu chuẩn TCVN 11969:2018 [16] chỉ cho phép sử dụng cốt liệu lớn tái chế loại I và loại II trong sản xuất bê tông, làm hạn chế phạm vi ứng dụng của cốt liệu nhỏ tái chế. Trong khi đó, tiêu chuẩn TCVN 13694:2023 [17] chỉ cho phép sử dụng cấp phối tái chế từ CTRXD cho lớp móng đường giao thông đô thị. Thực tế này, đặt vấn đề

cần phải xây dựng và ban hành một hệ thống tiêu chuẩn đầy đủ hơn đối với các hoạt động các hoạt động thiết kế, sản xuất, thi công và nghiệm thu liên quan đến CLTC và BTCLTC và phù hợp với các điều kiện thực tế tại Việt Nam. Các tiêu chuẩn này là hành lang kỹ thuật và cơ sở pháp lý vững chắc để các chủ đầu tư, tư vấn thiết kế, nhà thầu xây dựng, đơn vị sản xuất ứng dụng CLTC và BTCLTC trong các sản phẩm và công trình thực tế. Việc xây dựng các tiêu chuẩn cho CLTC và BTCLTC cần dựa trên các kết quả nghiên cứu ở trong nước, đồng thời tham khảo các tiêu chuẩn quốc tế nhằm đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật chung, đặc biệt đối với các dự án có yếu tố nước ngoài hoặc các sản phẩm xuất khẩu.

Về kỹ thuật, cần cải thiện chất lượng và tính ổn định của CLTC từ CTRXD nói riêng và các loại chất thải rắn nói chung, nhằm đảm bảo chất lượng của BTCLTC và các cấu kiện BTĐS. Bên cạnh đó, các loại cốt liệu nhỏ tái chế cũng cần được nghiên cứu và ứng dụng trong sản xuất BTCLTC và các cấu kiện BTĐS, để mở rộng phạm vi ứng dụng. Để giải quyết các vấn đề này cần sự đóng góp của các nhà khoa học thông qua việc thực hiện các dự án, đề tài khoa học và công nghệ liên quan đến CLTC và BTCLTC. Việc chuyển giao các kết quả nghiên cứu từ cơ sở nghiên cứu và trường đại học cho các đơn vị sản xuất cho phép áp dụng công nghệ tiên tiến và phương pháp hiện đại trong thu gom, phân loại và tái chế chất thải rắn nhằm cải thiện chất lượng CLTC và BTCLTC cũng như các sản phẩm, cấu kiện BTĐS.

Về chính sách, Nhà nước cần xây dựng các cơ chế ưu đãi và hỗ trợ tài chính nhằm khuyến khích các doanh nghiệp đầu tư vào sản xuất và ứng dụng các loại sản phẩm thân thiện với môi trường như các loại cấu kiện BTĐS chế tạo bằng BTCLTC. Các chính sách này có thể bao gồm ưu đãi thuế, hỗ trợ tài chính, hoặc tích điểm tín dụng xanh cho các hạng mục, công trình sử dụng BTCLTC. Khi hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật đầy đủ hơn, nên xem xét quy định sử dụng BTCLTC đối với một số hạng mục nhất định trong dự án đầu tư sử dụng nguồn vốn ngân sách, tương tự như quy định sử dụng vật liệu xây không nung trong các công trình xây dựng.

Cuối cùng, cần đẩy mạnh công tác tuyên truyền, đào tạo và nâng cao nhận thức cho cộng đồng, doanh nghiệp và các bên liên quan trong ngành xây dựng. Việc phổ biến thông tin khoa học, kết quả nghiên cứu và các mô hình ứng dụng thành công sẽ góp phần thay đổi nhận thức, từng bước

hình thành thói quen sử dụng các sản phẩm thân thiện với môi trường, trong đó vật liệu BTCLTC và các cấu kiện BTĐS chế tạo bằng BTCLTC cần được khuyến khích sử dụng rộng rãi, như một xu thế tất yếu, vì mục tiêu phát triển bền vững ngành xây dựng tại Việt Nam.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích tiềm năng ứng dụng BTCLTC trong sản xuất cấu kiện BTĐS tại Việt Nam. Kết quả cho thấy BTCLTC có khả năng đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật đối với nhiều loại cấu kiện BTĐS thông dụng nếu được kiểm soát chất lượng CLTC và thiết kế cấp phối phù hợp. Việc ứng dụng BTCLTC có thể mang lại lợi ích kép: (i) giảm khai thác tài nguyên tự nhiên và (ii) giảm lượng chất thải rắn xây dựng phải xử lý, góp phần hiện thực hóa mục tiêu phát triển bền vững và kinh tế tuần hoàn.

Nghiên cứu này nhấn mạnh khả năng ứng dụng thực tế của BTCLTC ở quy mô cấu kiện BTĐS. Các rào cản kỹ thuật, pháp lý, kinh tế và nhận thức xã hội đã được nhận diện rõ ràng, làm cơ sở để đề xuất nhóm giải pháp đồng bộ bao gồm:

(1) Hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan đến CLTC và BTCLTC đối với các hoạt động thiết kế, sản xuất, thi công và nghiệm thu sản phẩm xây dựng.

(2) Cải thiện chất lượng và tính ổn định của CLTC thông qua việc chuyển giao công nghệ tiên tiến và phương pháp hiện đại dựa trên các kết quả nghiên cứu khoa học.

(3) Xây dựng cơ chế ưu đãi, chính sách khuyến khích sản xuất và ứng dụng các sản phẩm, vật liệu thân thiện với môi trường trong các công trình xây dựng.

(4) Tăng cường tuyên truyền và phổ biến thông tin khoa học, các kết quả nghiên cứu và các mô hình ứng dụng để thay đổi nhận thức cộng đồng, hình thành thói quen sử dụng các sản phẩm, vật liệu thân thiện với môi trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] N.A. Duc and Y. Dosho. (2024). Performance evaluation and mix proportion design of concrete using low-quality recycled aggregate: Application for structural concrete in Vietnam. *Japan Architectural Review*, vol. 7, no. 1, p. e12417.

[2] V. Revilla-Cuesta, F. Fiol, P. Perumal, V. Ortega-López, and J. M. Manso. (2022).

Using recycled aggregate concrete at a precast-concrete plant: A multi-criteria company-oriented feasibility study. *J Clean Prod*, vol. 373, p. 133873.

[3] S. C. Kou and C. S. Poon. (2012). Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate. *Constr Build Mater*, vol. 35, pp. 69-76.

[4] A. Alibeigibeni, F. Stochino, M. Zucca, and F. L. Gyarre. (2025). Enhancing Concrete Sustainability: A Critical Review of the Performance of Recycled Concrete Aggregates (RCAs) in Structural Concrete. *Buildings* 2025, Vol. 15, Page 1361, vol. 15, no. 8, p. 1361.

[5] J. García-González, D. Rodríguez-Robles, A. Juan-Valdés, J. M. M. Pozo, and M. I. Guerra-Romero. (2016). Porosity and pore size distribution in recycled concrete. *Mag. Concr. Res.*, vol. 67, no. 22, pp. 1214-1221.

[6] J. E. Castano and A. Abdel-Mohti. (2024). Assessing the Impact of Recycled Concrete Aggregates on the Fresh and Hardened Properties of Self-Consolidating Concrete for Structural Precast Applications. *Infrastructures* 2024, Vol. 9, Page 177, vol. 9, no. 10, p. 177.

[7] N. K. Tuan et al. (2018). Nghiên cứu hiện trạng quản lý phế thải xây dựng và phá dỡ ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Đại học Xây dựng Hà Nội*, vol. 12, no. 7, pp. 107-116.

[8] N. H. Hoang et al. (2020). Waste generation, composition, and handling in building-related construction and demolition in Hanoi, Vietnam. *Waste Manag.*, vol. 117, pp. 32-4.

[9] N. H. Cuong. (2024). Nghiên cứu thực nghiệm sử dụng cốt liệu nhỏ tái chế từ khối xây gạch đỏ cho bê tông tự lèn có hàm lượng tro bay cao. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Đại học Xây dựng Hà Nội*, vol. 18, no. 2V, pp. 30-41.

[10] H. N. Thai, T. D. Nguyen, V. T. Nguyen, N.H. Giang, and K. Kawamoto. (2022). Characterization of compaction and CBR properties of recycled concrete aggregates for unbound road base and subbase materials in Vietnam. *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 24, no. 1, pp. 34-48, Jan. 2022.

[11] T. L. Nguyen, V. T. Nguyen, H. G. Nguyen, A. Matsuno, H. Sakanakura, and K.

- Kawamoto. (2022). Mechanical and Hydraulic Properties of Recycled Concrete Aggregates Mixed with Clay Brick Aggregates and Particle Breakage Characteristics for Unbound Road Base and Subbase Materials in Vietnam. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 4854, vol. 14, no. 8, p. 4854.
- [12] N. X. Hien, P. Q. Minh, and N. N. Tan. (2024). Tầm bê tông cốt liệu tái chế trên nền cát: Từ thiết kế đến ứng dụng. *Tạp chí Xây dựng*, no. 10, pp. 194-194.
- [13] T. T. Kien and L. T. Thanh. (2015). Influences of ground granulated blast furnace slag on the properties of concrete using recycled concrete aggregate. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Đại học Xây dựng Hà Nội*, vol. 9, no. 2, pp. 77-84.
- [14] N. T. Quang, T.V. Cuong, N. N. Tan, N.H. Tan, H. Giang. (2021). Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của tỷ lệ sử dụng cốt liệu lớn tái chế đến sự phát triển cường độ nén và mô đun đàn hồi của bê tông theo thời gian. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Đại học Xây dựng Hà Nội*, vol. 15, no. 1V, pp. 48-59.
- [15] T. A. Dung, N. H. Hiep, and N. N. Tan. (2025). Ảnh hưởng đồng thời của cốt liệu lớn tái chế và tỷ lệ nước/xi măng đến cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi của bê tông cốt liệu tái chế. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Đại học Xây dựng Hà Nội*.
- [16] TCVN 11969:2018 Cốt liệu lớn tái chế cho bê tông.
- [17] TCVN 13694:2023 Cấp phối tái chế từ chất thải rắn xây dựng làm lớp móng đường giao thông đô thị - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử.
- [18] T. T. Kien and L. T. Thanh. (2017). Comparative mechanical behaviour of recycled aggregate concrete used cement and alkalineactivated slag binder. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Đại học Xây dựng Hà Nội*, vol. 11, no. 5.
- [19] N.H. Tan et al. (2024). An empirical study of the behavior of recycled aggregate concrete beams from cdw in hanoi, Viet Nam. *International Journal of GEOMATE*, vol. 26, no. 118, pp. 122-132.
- [20] T. V. Cuong, N. N. Tan, K. Kawamoto, and N. H. Giang. (2024). Flexural behavior of reinforced concrete beams using synthetic aggregates produced from concrete waste powder in Vietnam. *International Journal of GEOMATE*, vol. 27, no. 120, pp. 69-76.
- [21] N. T. Quang, T. V. Cuong, N. N. Tan, N. H. Tan, K. Kawamoto, and N. H. Giang. (2022). Nghiên cứu thực nghiệm về ứng xử của kết cấu cột bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu tái chế chịu tải trọng đúng tâm. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng (STCE) - Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE)*.
- [22] European Committee for Standardization (2023). Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. EN 1992-1-1:2023.
- [23] Quyết định số 222/QĐ-TTg ngày 23/01/2025 của Thủ tướng Chính phủ ban hành Kế hoạch hành động quốc gia thực hiện kinh tế tuần hoàn đến năm 2035.
- [24] Quyết định số 179/QĐ-TTg ngày 16/2/2024 của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt Chiến lược phát triển ngành Xây dựng đến năm 2030, định hướng đến năm 2045.
- [25] Quyết định số 1658/QĐ-TTg ngày 01/10/2021 của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt Chiến lược quốc gia về tăng trưởng xanh giai đoạn 2021 - 2030, tầm nhìn 2050.
- [26] Quyết định số 882/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt Kế hoạch hành động quốc gia về tăng trưởng xanh giai đoạn 2021 - 2030.
- [27] Quyết định số 450/QĐ-TTg ngày 13/4/2022 của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt Chiến lược bảo vệ môi trường quốc gia đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050.
- [28] Chỉ thị số 41/CT-TTg ngày 01/12/2020 của Thủ tướng Chính phủ về một số giải pháp cấp bách tăng cường quản lý chất thải rắn.