

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

Nguyễn Thanh Quang^{a,b}, Trần Viết Cường^{a,*}, Nguyễn Ngọc Tân^a,

Nghiêm Hà Tân^a, Nguyễn Hoàng Giang^a

^aKhoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bTổng Công Ty Giấy Việt Nam, 25A phố Lý Thường Kiệt, quận Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 02/02/2021, Sửa xong 09/03/2021, Chấp nhận đăng 09/03/2021

Tóm tắt

Ở các thành phố lớn như Hà Nội, Hồ Chí Minh phát sinh một lượng lớn chất thải rắn xây dựng (CTRXD) từ việc phá dỡ các công trình cũ, cũng như xây dựng các công trình mới. Chính phủ đã có những quy định về thu gom và tái chế CTRXD để tái sử dụng nhằm bảo vệ môi trường qua thông tư 08/2017/TT-BXD, mới nhất là chỉ thị 41/CT-TTg về một số giải pháp cấp bách tăng cường quản lý chất thải rắn. Nghiên cứu này trình bày các kết quả thực nghiệm thu được trên các mẫu bê tông sử dụng cốt liệu lớn tái chế (CLLTC) từ CTRXD với các tỷ lệ sử dụng lần lượt là 0%, 50% và 100% thay thế cho cốt liệu lớn tự nhiên (CLLTN). Những kết quả chỉ ra rằng cường độ nén ở 28 ngày tuổi của bê tông tái chế bị giảm từ 9,5 – 16,0%, trong khi đó mô đun đàn hồi bị giảm từ 12,8 – 24,2% khi so sánh với bê tông cốt liệu tự nhiên. Ảnh hưởng của hàm lượng CLLTC đối với cường độ nén ít hơn đối với mô đun đàn hồi. Mô đun đàn hồi của bê tông tái chế giảm tuyến tính khi tăng tỷ lệ sử dụng CLLTC.

Từ khóa: bê tông tái chế; cường độ nén; mô đun đàn hồi; cốt liệu lớn tái chế; chất thải rắn xây dựng.

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF THE PROPORTIONS OF RECYCLED COARSE AGGREGATES ON THE EVOLUTION OF CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH AND YOUNG'S MODULUS

Abstract

A large of Construction and Demolition Waste (CDW) has been generated from demolish existing structures, as well as the construction of new structures. The Vietnamese's Government has the regulations on collecting and recycling CDW for reuse, recycle to environmental protection through the Circular No. 08/2017/TT-BXD, the latest is Directive 41/CT-TTg on a number of Urgent solution to strengthen solid waste management. This study presents the experimental results on the concrete specimens made with recycled coarse aggregates (RCA) from CDW with various proportions of 0%, 50% and 100% for the replacement of natural coarse aggregates. The obtained results show that the compressive strength at 28-day of recycled aggregate concrete is decreased by 9.5 - 16.0%, meanwhile, the Young's modulus is decreased by 12.8 - 24.2% in comparison with the natural aggregate concrete. The effect of RCA content on the compressive strength is smaller than that of the modulus of elasticity. The modulus of elasticity is reduced linearly with increasing the proportion of RCA.

Keywords: recycled concrete; compressive strength; Young's modulus; recycled coarse aggregate; construction and demolition waste.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15\(1V\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(1V)-05) © 2021 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: cuong9191101@nuce.edu.vn (Cường, T. V.)

1. Mở đầu

Việc phá dỡ các công trình xây dựng cũ là công tác thường xuyên phải thực hiện trong quá trình cải tạo và/hoặc triển khai các dự án xây dựng mới, và đặc biệt đang diễn ra phổ biến tại các thành phố lớn, nơi có tốc độ đô thị hóa cao. Hàng năm, khoảng 850 triệu tấn chất thải xây dựng và phá dỡ được tạo ra ở Châu Âu, chiếm khoảng 31% tổng lượng chất thải phát sinh. Tại Hoa Kỳ, chỉ riêng chất thải được tạo ra từ việc phá dỡ các tòa nhà là khoảng 123 triệu tấn mỗi năm [1]. Thông thường, chất thải rắn bê tông vỡ được vận chuyển ra các bãi chôn lấp, gây ra các tác động đáng kể đến môi trường và nguy hại cho sức khỏe. Hơn nữa, tình trạng thiếu đất và chi phí chôn lấp ngày càng tăng càng làm trầm trọng thêm các vấn đề môi trường.

Phát triển bền vững hiện đang là một chủ đề quan trọng trên toàn thế giới. Khái niệm phát triển bền vững lần đầu tiên được trình bày tại Hội nghị thượng đỉnh Trái đất năm 1992 ở thành phố Rio de Janeiro của Brazil, và hiện nay đã trở thành nguyên tắc chỉ đạo trong nền kinh tế nói chung và cho lĩnh vực xây dựng nói riêng [2]. Việc tái chế và tái sử dụng CTRXD là một xu hướng tất yếu và giải pháp kỹ thuật có tính khả thi và tiềm năng, nhằm sử dụng chất thải như một loại tài nguyên tái tạo, từ đó giảm thiểu áp lực lên việc khai thác các tài nguyên tự nhiên.

Hiện nay, tái chế CTRXD góp phần phát triển ngành kỹ thuật xây dựng và đóng một vai trò quan trọng trong việc tái tạo môi trường, như một cách mới để bảo vệ tài nguyên thiên nhiên và giảm lượng vật liệu thải ra bãi chôn lấp [3, 4]. Tại Việt Nam, theo số liệu thống kê năm 2009 thì lượng CTRXD phát sinh từ các thành phố lớn là khoảng 1,46 - 1,92 triệu tấn/năm, tuy nhiên tỷ lệ tái chế rất thấp chỉ từ 1 - 2% [5]. Hiện nay, CTRXD phát sinh khoảng 3000 tấn/ngày, năm 2020 tổng lượng CTRXD ước tính là 6,3 triệu tấn và dự kiến đến năm 2025 là 11 triệu tấn [6]. Nguồn chất thải rắn khổng lồ và ngày càng tăng này cũng không được quản lý do hệ thống quản lý, nhận thức của người dân, công nghệ xử lý và nhiều lý do khác. Trong khi đó, ở nhiều quốc gia khác, CTRXD đã được nghiên cứu và chứng minh là thay thế hiệu quả cho các vật liệu tự nhiên. Ví dụ, ở Nhật Bản, 95% bê tông được nghiền và tái sử dụng làm vật liệu đắp nền đường vào năm 2000 [7], không chỉ mang lại giá trị kinh tế mà còn giảm áp lực lên môi trường đô thị. Tình hình phát sinh và xử lý CTRXD hàng năm của một số nước tiên tiến được tổng hợp trong Bảng 1 để so sánh với thực trạng của Việt Nam. Trong những năm gần đây, Chính phủ Việt Nam đã đưa ra các văn bản pháp luật nhằm thực hiện Chiến lược quốc gia về quản lý chất thải rắn đến năm 2025 và tầm nhìn đến năm 2050 [8–11]. Trong chiến lược quốc gia [11], mục tiêu tái chế CTRXD đã được cụ thể như sau: “90% tổng lượng chất thải rắn xây dựng phát sinh tại các đô thị được thu gom, xử lý đáp ứng yêu cầu bảo vệ môi trường, trong đó 60% được tái sử dụng hoặc tái chế thành các sản phẩm, vật liệu tái chế bằng các công nghệ phù hợp”.

Bảng 1. Lượng CTRXD phát sinh và tỷ lệ tái chế ở một số quốc gia

STT	Quốc Gia	Năm	Tổng lượng CTRXD (triệu tấn/năm)	Tỉ lệ tái chế (%)	Tham khảo
1	Nhật Bản	2012	72,69	96	[12]
2	Hàn Quốc	2009	67	36	[13]
3	Đức	2012	89	85	[14]
4	Pháp	2012	76	93	[14]
5	Vương Quốc Anh	2012	47	70	[14]
6	Ý	2012	40	79	[14]
7	Tây Ban Nha	2012	28	98	[14]
8	Hà Lan	2012	26	83	[14]
9	Việt Nam	2009	1,5-1,9	1-2	[5]

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm xác định các tính chất cơ lý của vật liệu bê tông chế tạo bằng cốt liệu tái chế từ CTRXD. Nghiên cứu của Tam et al. (2015) đã tổng hợp các kết quả nghiên cứu thu được từ hơn 26 nghiên cứu đã được thực hiện trước đó, chỉ ra rằng CLLTN có thể được thay thế bằng CLLTC, với các tỷ lệ thay thế thường dùng là 30%, 50%, 70% và đến 100% [15]. Cường độ nén của bê tông tái chế (BTTC) ở 28 ngày tuổi bị giảm ít hơn 35% khi so sánh với bê tông cốt liệu tự nhiên (BTCLTN). Tuy nhiên, biến dạng của BTTC thường cao hơn và biến động hơn so với BTCLTN. Tương tự, nghiên cứu của Silva et al. (2014) [16, 17] cũng chỉ ra rằng cường độ cơ học của bê tông tái chế phụ thuộc vào chất lượng của cốt liệu tái chế (cốt liệu lớn, cốt liệu nhỏ) và hàm lượng sử dụng. Nghiên cứu này phân loại chất lượng CLLTC thành bốn cấp độ ký hiệu lần lượt là A, B, C, D dựa trên hai chỉ tiêu chính là khối lượng thể tích và độ hút nước của cốt liệu. Khả năng ứng dụng của cốt liệu lớn tái chế cũng như BTTC là rất đa dạng. Ngày nay, CLLTC không chỉ được sử dụng làm cốt liệu thi công kết cấu móng đường, mà còn có thể sử dụng để chế tạo bê tông trong kết cấu công trình, bao gồm các cấu kiện chịu lực (móng, cột, tường chịu lực) và các cấu kiện phi chịu lực [15].

Ở Việt Nam, những mục tiêu cụ thể về quản lý, thu gom và tái chế CTRXD đã được cụ thể trong Chiến lược quốc gia [11]. Hiện nay, mới chỉ có tiêu chuẩn TCVN 11969:2018 [18] về CLLTC cho bê tông. Tuy nhiên, sự không đầy đủ của hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan đến vật liệu tái chế, cũng như thói quen sử dụng các loại vật liệu có nguồn gốc tự nhiên đã ăn sâu vào suy nghĩ của người dân, dẫn đến việc ứng dụng các loại cốt liệu tái chế, trong đó có CLLTC vào công trình thực tế là rất hạn chế. Trong thời gian vừa qua, một số các nghiên cứu về hiện trạng quản lý và thành phần của CTRXD đã được thực hiện [19–22]. Trong khi đó, các nghiên cứu khoa học về vật liệu tái chế và kết cấu sử dụng vật liệu tái chế chưa thực sự được quan tâm thực hiện. Một số các nghiên cứu đã được thực hiện chỉ ra rằng, các loại cốt liệu tái chế có nguồn gốc từ phá dỡ công trình cũ có tính chất địa phương là một yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng BTTC và sự phát triển của các tính chất này (cường độ nén, mô đun đàn hồi) [23]. Do đó, một nghiên cứu thực nghiệm nhằm khảo sát các hàm lượng khác nhau của CLLTC là rất cần thiết.

Trong nghiên cứu này, chất thải rắn bê tông vỡ đã được thu gom từ một công trình cũ bị phá dỡ trên địa bàn thành phố Hà Nội. CTR này sau đó được gia công nghiền tại nhà máy để thu được các loại cốt liệu lớn tái chế có đường kính hạt từ 5 - 20 mm. Cốt liệu lớn tái chế được sử dụng để thay thế cho đá tự nhiên trong thành phần cấp phối, với các tỷ lệ lần lượt là 0%, 50% và 100%. Trong phòng thí nghiệm, một chương trình thực nghiệm đã được thực hiện để xác định cường độ nén và mô đun đàn hồi theo thời gian của bê tông. Những kết quả thu được cho phép xác định ảnh hưởng của tỷ lệ sử dụng cốt liệu lớn tái chế thay thế cho đá tự nhiên đến sự phát triển cường độ nén và mô đun đàn hồi của bê tông tái chế.

2. Chương trình thực nghiệm

2.1. Vật liệu sử dụng

a. Xi măng

Chất kết dính sử dụng là xi măng PCB40 của nhà máy Bút Sơn với các tính chất kỹ thuật đảm bảo yêu cầu về tính chất và chất lượng theo tiêu chuẩn TCVN 2682:2009 [24].

b. Cốt liệu nhỏ tự nhiên

Cốt liệu nhỏ là cát vàng sông Lô, đây là loại cốt liệu phổ biến ở Việt Nam. Cát được lấy về sàng loại bỏ những hạt có kích thước lớn hơn 5 mm. Các chỉ tiêu kỹ thuật khác của cát đều đạt tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 [25].

c. Cốt liệu lớn tự nhiên

Cốt liệu lớn được sử dụng là đá dăm Cẩm Phả, Quảng Ninh có đường kính lớn nhất là $d_{\max} = 20 \text{ mm}$. Các chỉ tiêu kỹ thuật đều đạt tiêu chuẩn TCVN 7572:2006 [26].

d. Nước

Nước dùng để chế tạo bê tông lấy từ hệ thống cấp nước của nhà máy nước sạch Hà Nội, thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 [27].

e. Cốt liệu lớn tái chế

CTRXD được thu gom tại công trình phá dỡ trên địa bàn Hà Nội, sau đó được vận chuyển về bãi tập kết có hệ thống máy nghiền ở Đông Anh, Hà Nội. Do đặc thù của quy trình phá dỡ hiện nay, CTRXD thu gom tại công trình lẫn rất nhiều tạp chất như đất, gỗ, vữa, khối tường xây nên nhóm tác giả đã tiến hành phân loại tại bãi bằng tay và sử dụng máy kẹp hàm để tách thép còn sót lại trong khối bê tông như trên Hình 1(a). Các khối bê tông phế thải được gia công kích thước tối đa 30 cm để phù hợp với thiết kế máy kẹp hàm trong hệ thống máy nghiền.



(a) Bê tông vỡ



(b) Dây chuyền nghiền CTRXD

Hình 1. Quá trình thu gom CTRXD và chế tạo cốt liệu tái chế

Hệ thống dây chuyền nghiền (Hình 1(b)) cho phép thu được cốt liệu tái chế với đường kính hạt từ 0 – 40 mm, trong đó cốt liệu nhỏ tái chế (CLNTC) có đường kính 0 – 5 mm, và CLLTC có đường kính 5 – 40 mm (Hình 2). Trong nghiền cứu này, chỉ các hạt CLLTC có đường kính từ 5 – 20 mm được sử dụng để chế tạo BTTC để tương ứng với đường kính CLLTN được sử dụng. Trong phòng thí nghiệm, các thí nghiệm đã được thực hiện để xác định chất lượng đầu vào của CLLTC sử dụng. Các kết quả thu được trình bày trong Bảng 2, bao gồm: độ ẩm, độ hút nước, khối lượng thể tích, khối lượng riêng và khối lượng riêng khô. Những kết quả này chỉ ra rằng CLLTC sử dụng là loại 1 tuân theo TCVN 11969:2018 [18].

Bảng 2. Tính chất vật lý của CLLTC sử dụng

Độ ẩm (%)	Độ hút nước (%)	Khối lượng thể tích (g/cm^3)	Khối lượng riêng (g/cm^3)	Khối lượng riêng khô (g/cm^3)
1,87	3,53	2,43	2,62	2,38



(a) Đường kính hạt 5 – 40 mm



(b) Đường kính hạt 5 – 20 mm

Hình 2. Cốt liệu lớn tái chế từ CTRXD bằng phương pháp nghiền

Tiếp theo, một chương trình thực nghiệm đã được thực hiện nhằm nghiên cứu ba cấp phối bê tông ký hiệu lần lượt là CP0, CP50 và CP100, tương ứng với tỷ lệ sử dụng CLLTC là 0%, 50% và 100% để thay thế cho CLLTN. Bê tông đối chứng CP0 được thiết kế để đạt được cấp độ bền nén B30 ở 28 ngày tuổi. Thành phần cấp phối vật liệu của từng loại bê tông được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần cấp phối cho 1 m³ bê tông

Bê tông	Xi măng (kg)	Cát (kg)	Đá dăm (kg)	Nước (kg)	Phụ gia siêu dẻo (kg)	CLLTC (kg)
CP0	490	700	1050	190	4,9	0
CP50	490	700	525	190	4,9	481
CP100	490	700	0	190	4,9	943

2.2. Mẫu thí nghiệm

Để xác định các tính chất cơ học của bê tông đối chứng và bê tông tái chế, các mẫu thử hình trụ tròn có kích thước 150×300 mm đã được đúc, bảo dưỡng trong phòng thí nghiệm và thử nghiệm ở 3, 7, 14 và 28 ngày. Hình 3 giới thiệu hình ảnh các mẫu thử được chế tạo và bảo dưỡng trong phòng thí nghiệm.



(a) Các mẫu thử sau khi đổ bê tông



(b) Các mẫu thử sau khi tháo khuôn

Hình 3. Các mẫu thử được chế tạo trong phòng thí nghiệm

2.3. Khối lượng thể tích của bê tông

Trước khi thực hiện thí nghiệm nén, đối với mỗi loại bê tông, một tổ mẫu gồm ba mẫu thử đã được tiến hành đo kích thước và cân khối lượng để xác định khối lượng thể tích của bê tông tuân theo tiêu chuẩn TCVN 3115:1993 [28]. Các phép đo kích thước được thực hiện bằng thước kẹp kim loại, có độ chính xác đến 0,1 mm. Khối lượng mẫu thử được cân bằng cân điện tử có độ chính xác đến 0,1 gam. Bảng 4 trình bày các kết quả khối lượng riêng trung bình của các bê tông đo đạc ở 28 ngày tuổi.

Bảng 4. Khối lượng thể tích của bê tông

Bê tông	Tỷ lệ CLLTC	Khối lượng thể tích (g/cm^3)
CP0	0%	2,43
CP50	50%	2,34
CP100	100%	2,31

2.4. Thí nghiệm xác định cường độ nén

Thí nghiệm nén được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 3118:1993 [29] nhằm xác định sự phát triển cường độ chịu nén của mẫu bê tông hình trụ, ở các thời điểm khác nhau lần lượt là 3, 7, 14 và 28 ngày tuổi. Tất cả các mẫu thử hình trụ đều được gia công tạo phẳng bề mặt trước khi nén (Hình 4(a)). Trong nghiên cứu này, thí nghiệm nén được thực hiện trên máy nén thủy lực 200 tấn DHR200 như minh họa trên Hình 4(b). Mẫu thí nghiệm phải được đặt ở đúng tâm thớt dưới của máy. Vận hành van thủy lực và tăng lực nén để thớt trên của máy chạm vào mẫu. Tăng lực nén với vận tốc không đổi cho đến khi mẫu được phá hoại. Lực nén tối đa thể hiện trên máy nén chính là giá trị tải trọng phá hoại mẫu.



(a) Gia công tạo phẳng bề mặt mẫu



(b) Gia tải nén phá hoại mẫu

Hình 4. Thí nghiệm nén bê tông

Cường độ nén của bê tông, ký hiệu R (MPa), được xác định bằng công thức (1), trong đó P (kN) là tải trọng phá hoại mẫu, F (mm^2) là tiết diện chịu lực của mẫu. Tại mỗi thời điểm thí nghiệm, cường độ nén của bê tông là giá trị trung bình của ba mẫu thử được chế tạo với cùng một cấp phối và trong

cùng một mẻ trộn. Những kết quả cường độ nén trung bình của các bê tông thí nghiệm được trình bày trong Bảng 5.

$$R = \frac{P}{F} \quad (1)$$

Bảng 5. Cường độ nén của bê tông theo thời gian

Bê tông	Cường độ nén trung bình (MPa)			
	R ₃	R ₇	R ₁₄	R ₂₈
CP0	31,27	35,61	38,83	47,89
CP50	25,84	34,43	38,31	40,24
CP100	27,82	35,28	40,99	43,33

2.5. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi

Tương tự như cường độ nén, mô đun đàn hồi là một trong những tính chất cơ học quan trọng của bê tông. Đối với mỗi mẫu thử hình trụ, ba tem điện trở (strain gage) có chiều dài chuẩn đo bằng 60 mm đã được dán dọc theo chiều cao của mẫu, tạo thành một bộ dụng cụ đo biến dạng tạo với nhau một góc 120° xung quanh mặt bên của mẫu thử (Hình 5(a)). Biến dạng nén dọc trục của bê tông là giá trị biến dạng trung bình đo bởi ba tem điện trở. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi được thực hiện trên máy nén thủy lực 50 tấn kết hợp với load-cell đo lực điện tử và bộ xử lý số liệu Data-logger TDS530, cho phép ghi nhận số liệu liên tục và tự động trong quá trình thí nghiệm (Hình 5(b)). Mẫu thử được gia tải đến lực nén có giá trị bằng 30% của lực phá hoại mẫu.



(a) Dán tem đo biến dạng



(b) Thí nghiệm mô đun đàn hồi

Hình 5. Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của bê tông

Thí nghiệm mô đun đàn hồi được tiến hành theo hướng dẫn của RILEM CPC8 [30]. Mỗi mẫu thử được nén năm chu kỳ tăng tải và hạ tải với vận tốc không đổi. Mô đun đàn hồi được xác định theo công thức (2), trong đó σ là ứng suất trong bê tông, ε là biến dạng nén dọc trục của bê tông. Tại mỗi thời điểm thí nghiệm, mô đun đàn hồi của bê tông là giá trị trung bình của ba mẫu thử. Những kết quả

thu được trình bày trong Bảng 6 cho ba cấp phối thử nghiệm tại lần lượt 3, 7, 14 và 28 ngày tuổi của bê tông.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

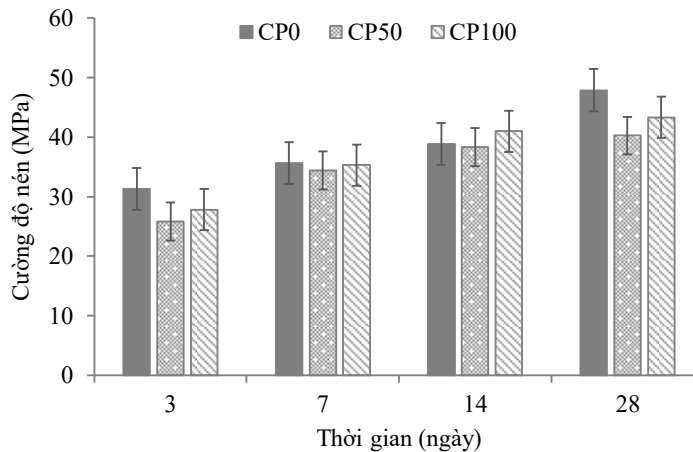
Bảng 6. Mô đun đàn hồi các cấp phối theo thời gian

Bê tông	Mô đun đàn hồi trung bình (GPa)			
	E ₃	E ₇	E ₁₄	E ₂₈
CP0	34,74	36,12	36,77	38,98
CP50	28,76	31,97	33,11	33,98
CP100	26,03	28,33	29,16	29,54

3. Phân tích kết quả

3.1. Sự phát triển cường độ nén

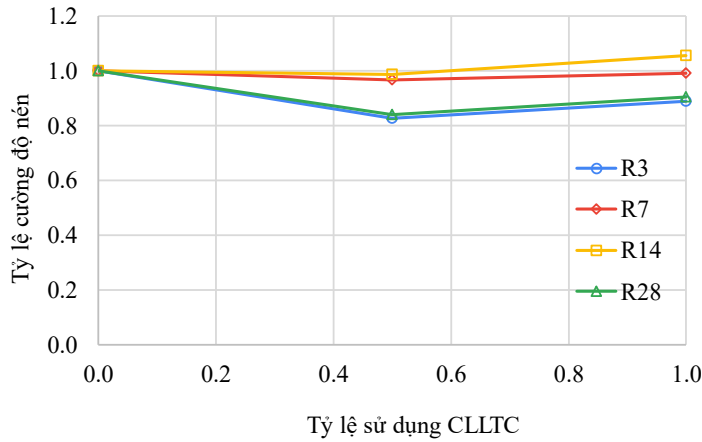
Hình 6 giới thiệu kết quả cường độ nén của ba loại bê tông CP0, CP50 và CP100 với các tỷ lệ CLLTC sử dụng tương ứng là 0, 50% và 100%. Đối với bê tông đối chứng CP0, sự phát triển cường độ diễn ra với quy luật của bê tông thông thường. Ở 3 ngày tuổi ($R_3 = 31,27$ MPa), bê tông CP0 đã đạt được 65% cường độ nén ở 28 ngày tuổi ($R_{28} = 47,89$ MPa). Tiếp theo, cường độ nén R_7 và R_{14} đạt được tương ứng là 74% và 81% cường độ nén R_{28} .



Hình 6. Sự phát triển cường độ nén của bê tông theo thời gian

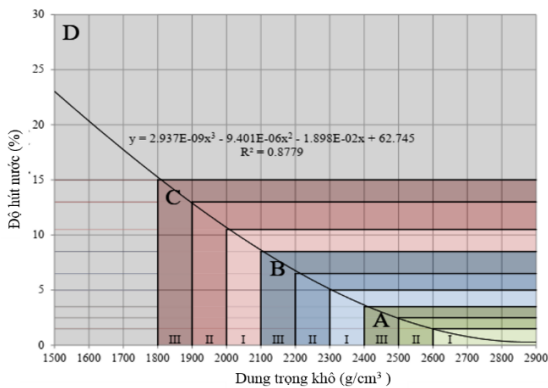
Trong khi đó, hai loại bê tông tái chế CP50 và CP100 có cường độ nén R_{28} lần lượt là 40,24 và 43,33 MPa, giảm từ 9,5 – 16,0% khi so sánh với cường độ nén của bê tông đối chứng. Sự phát triển cường độ ở tuổi sớm từ 0 - 3 ngày tuổi của BTTC tương tự như bê tông thông thường. Tuy nhiên, từ 7 đến 14 ngày tuổi thì BTTC phát triển cường độ nhanh hơn. Cường độ nén R_7 của BTTC đạt được từ 81 - 85% so với cường độ nén R_{28} . Cường độ nén R_{14} của BTTC đạt được 95% so với cường độ nén R_{28} . Điều này được giải thích rằng, CLLTC có độ hút nước cao hơn CLLTN, nước tự do nằm trong hệ thống lỗ rỗng và làm chậm sự mất nước trong quá trình đóng rắn của bê tông tái chế.

Như vậy, tất cả các loại bê tông thí nghiệm đều có cường độ nén trung bình ở 28 ngày tuổi lớn hơn 40 MPa, đạt yêu cầu về cường độ nén thiết kế để có thể sử dụng cho các cấu kiện chịu lực chính trên kết cấu công trình. Các mẫu bê tông sử dụng CLLTC cho thấy rằng sự phát triển cường độ nhanh hơn so với bê tông đối chứng ở tuổi sớm (7 – 14 ngày) và tốc độ phát triển ở tuổi 28 ngày cả ba cấp phối đều tương đương nhau. Hơn nữa, cường độ nén trung bình của bê tông CP100 cao hơn từ 1 – 3 MPa khi so sánh với bê tông CP50. Độ chênh lệch cường độ nén giữa hai cấp phối này là tương đối nhỏ, do tính chất không đồng nhất của vật liệu bê tông. Từ những kết quả thu được có thể đưa ra kết luận rằng, việc sử dụng CLLTC không gây ảnh hưởng đến sự phát triển cường độ nén của bê tông theo thời gian. Đối với sự phát triển cường độ dài hạn của bê tông tái chế, cần thực hiện thêm các thí nghiệm ở các tuổi 60, 90, 120, 180 và 360 ngày để đánh giá chính xác hơn.

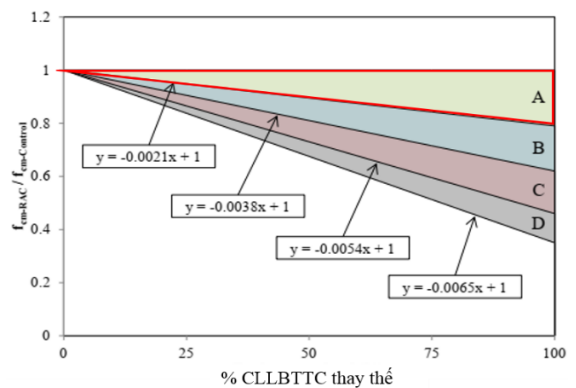


Hình 7. Quan hệ giữa tỷ lệ cường độ nén và tỷ lệ sử dụng CLLTC

Hình 7 giới thiệu mối quan hệ giữa tỷ lệ cường độ nén của BTTC so với bê tông đối chứng và tỷ lệ sử dụng CLLTC thay thế cho CLLTN. Ở tất cả các thời điểm thí nghiệm, cường độ nén của BTTC đều lớn hơn 80% cường độ nén của bê tông đối chứng. Hơn nữa, khi đối chiếu với kết quả nghiên cứu của Silva et al. (2014) [16, 17], CLLTC được sử dụng trong nghiên cứu này có độ hút nước 3,53%



(a) Phân loại cốt liệu tái chế



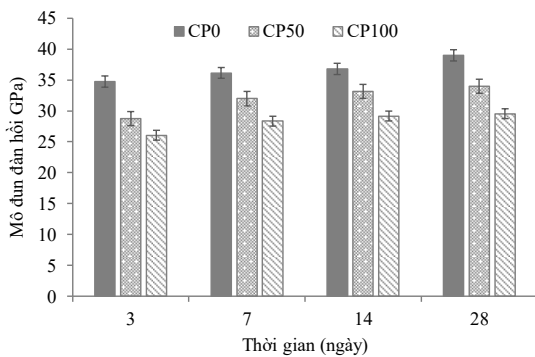
(b) Cường độ nén BTTC so với BTCLTN

Hình 8. Cường độ nén theo tỷ lệ sử dụng và chất lượng cốt liệu tái chế [16, 17]

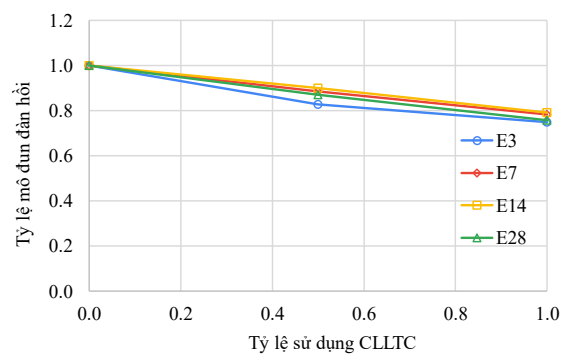
và khối lượng riêng khô $2,38 \text{ g/cm}^3$ nằm giữa vùng III-A và I-B trong Hình 8(a) (vùng A là vùng cốt liệu sử dụng cho bê tông tương đương với đá tự nhiên) và tỷ lệ cường độ nén của bê tông với các tỷ lệ sử dụng khác nhau nằm hoàn toàn trong vùng A trên Hình 8(b). Kết quả này khẳng định việc sử dụng CLLTC thay thế cho CLLTN vẫn đảm bảo được cường độ bê tông.

3.2. Sự phát triển mô đun đàn hồi

Hình 9 tổng hợp các kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi của ba loại bê tông thử nghiệm. Những kết quả chỉ ra rằng, đối với mỗi loại bê tông, mô đun đàn hồi tăng đều theo thời gian từ 3 đến 28 ngày tuổi. Khi so sánh giữa các loại bê tông, nhận thấy rằng mô đun đàn hồi giảm khi tăng tỷ lệ sử dụng CLLTC. Mối quan hệ giữa tỷ lệ mô đun đàn hồi của BTTC so với bê tông đối chứng và tỷ lệ sử dụng CLLTC được biểu diễn trên Hình 10. Mối quan hệ này gần như là tuyến tính cho tất cả các thời điểm thí nghiệm. Ở 28 ngày tuổi, mô đun đàn hồi của CP0 đạt giá trị trung bình là $E_{28} = 38,98 \text{ GPa}$. Trong khi đó, hai loại bê tông tái chế CP50 và CP100 đạt giá trị trung bình lần lượt là 33,98 và 29,54 GPa, tương ứng giảm 12,8 – 24,2% so với bê tông đối chứng.



Hình 9. Sự phát triển mô đun đàn hồi của bê tông theo thời gian



Hình 10. Quan hệ giữa tỷ lệ mô đun đàn hồi và tỷ lệ sử dụng CLLTC

Kết quả mô đun đàn hồi của các mẫu bê tông đều tăng dần theo thời gian. Tuy nhiên, ngược lại với thí nghiệm cường độ nén, mô đun đàn hồi của bê tông khi sử dụng 50% CLLTC tốt hơn so với bê tông 100% CLLTC. Việc sử dụng CLLTC đã làm giảm khối lượng riêng của bê tông (xem Bảng 4) ảnh hưởng rõ ràng hơn đến mô đun đàn hồi. Giá trị mô đun đàn hồi của bê tông CP100 giảm lớn nhất khoảng 25%. Những kết quả thu được thể hiện sự phù hợp với một số nghiên cứu đã được công bố. Khatib (2005) [31] chỉ ra rằng mô đun đàn hồi giảm 7,1 - 20,8% khi tăng hàm lượng CLLTC từ 25% đến 100%. Tương tự, nghiên cứu của Lye et al. (2015) [32] chỉ ra rằng với 100% CLLTC thì mô đun đàn hồi giảm 6 – 40% so với BTCLTN, giảm trung bình khoảng 16%. Như vậy, mô đun đàn hồi của BTTC giảm tuyến tính khi tăng tỷ lệ sử dụng CLLTC. Như một hệ quả, biến dạng của BTTC sẽ lớn hơn biến dạng của BTCLTN khi chịu tác dụng cùng một giá trị tải trọng.

4. Kết luận

Việc tái chế chất thải rắn xây dựng từ phá dỡ công trình để làm cốt liệu sản xuất vật liệu bê tông là một giải pháp hữu ích góp phần vào sự phát triển bền vững trong lĩnh vực xây dựng, cũng như giải quyết vấn đề cấp thiết về quản lý chất thải rắn trong giai đoạn hiện nay. Bài báo trình bày các kết quả thực nghiệm thu được trên các mẫu thử bê tông với các tỷ lệ sử dụng khác nhau của CLLTC, lần lượt là 0, 50% và 100%, cho các tính chất cơ học quan trọng của bê tông là cường độ nén và mô đun đàn

hồi. Những kết quả thu được cho phép phân tích ảnh hưởng của CLLTC đến sự phát triển theo thời gian của cường độ nén và mô đun đàn hồi. Một số kết luận chính của bài báo được đưa ra như sau:

- Việc sử dụng CLLTC để thay thế cho CLLTN ít ảnh hưởng đến cường độ của bê tông ở tuổi sớm (7 – 14 ngày). Ở 28 ngày tuổi, cường độ nén của BTTC giảm từ 9,5 – 16,0% khi so sánh với BTCLTN. Hơn nữa, ảnh hưởng của CLLTC đến cường độ nén ít hơn so với ảnh hưởng đến mô đun đàn hồi.

- Mô đun đàn hồi của BTTC bị giảm đáng kể khi tăng hàm lượng CLLTC, giảm từ 12,8 – 24,2% so với BTCLTN ở 28 ngày tuổi. Khi so sánh giữa BTTC và BTCLTN thì mối quan hệ giữa tỷ lệ mô đun đàn hồi và tỷ lệ sử dụng CLLTC gần như tuyến tính. Do đó, mô đun đàn hồi là tham số quan trọng khi nghiên cứu ứng xử cơ học của vật liệu/kết cấu BTTC.

- Những kết quả nghiên cứu đã chỉ ra tiềm năng sử dụng CLLTC có nguồn gốc từ CTRXD do phá dỡ các công trình cũ để thay thế một phần hoặc toàn bộ đá tự nhiên trong sản xuất bê tông mà vẫn đảm bảo được cường độ cơ học yêu cầu. Trong thực tế áp dụng, phân loại CLLTC sử dụng là việc làm cần thiết để đảm bảo chất lượng của bê tông.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Dự án hợp tác nghiên cứu KH&CN cho phát triển bền vững (SATREPS), một chương trình hợp tác giữa Trường Đại học Saitama - Nhật Bản và Trường Đại học Xây dựng do tổ chức JST-JICA tài trợ nghiên cứu với mục đích thúc đẩy môi trường toàn cầu.

Tài liệu tham khảo

- [1] Malešev, M., Radonjanin, V., Marinković, S. (2010). [Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production](#). *Sustainability*, 2(5):1204–1225.
- [2] Limbachiya, M. C., Koulouris, A., Roberts, J. J., Fried, A. N. (2004). Performance of recycled aggregate concrete. *Proc. of RILEM International Symposium on Environment Conscious Materials and Systems for Sustainable Development*, Koriyama, Japan, 127–136.
- [3] Blengini, G. A., Garbarino, E. (2010). [Resources and waste management in Turin \(Italy\): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix](#). *Journal of Cleaner Production*, 18(10-11):1021–1030.
- [4] Rodrigues, F., Carvalho, M. T., Evangelista, L., De Brito, J. (2013). [Physical–chemical and mineralogical characterization of fine aggregates from construction and demolition waste recycling plants](#). *Journal of Cleaner Production*, 52:438–445.
- [5] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2011). *Báo cáo môi trường quốc gia 2011: Chất thải rắn*.
- [6] Lockrey, S., Nguyen, H., Crossin, E., Verghese, K. (2016). [Recycling the construction and demolition waste in Vietnam: opportunities and challenges in practice](#). *Journal of Cleaner Production*, 133:757–766.
- [7] Patel, S., Patel, C. G. (2016). Cost optimization of the project by construction waste management. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(5):734–740.
- [8] Thông tư 08/2017/TT-BXD (2017). *Quy định về quản lý chất thải rắn xây dựng*. Bộ Xây dựng.
- [9] Chỉ thị 41/CT-TTg (2020). *Chỉ thị về một số giải pháp cấp bách tăng cường quản lý chất thải rắn*.
- [10] Quyết định 2149/QĐ-TTg (2009). *Phê duyệt chiến lược quốc gia về quản lý tổng hợp chất thải rắn đến năm 2025, tầm nhìn đến năm 2050*.
- [11] Quyết định 491/QĐ-TTg (2018). *Phê duyệt điều chỉnh chiến lược quốc gia về quản lý tổng hợp chất thải rắn đến năm-2025, tầm nhìn đến năm 2050*.
- [12] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (2017). *White paper on Land, Infrastructure, Transport and Tourism in Japan*.
- [13] Bansal, S., Singh, S. K. (2014). [A sustainable approach towards the construction and demolition waste](#). *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(2):1262–1269.

- [14] Deloitte (2017). *Study on resource efficient use of mixed wastes, improving management of construction and demolition waste*. Final report - Prepared for the European Commission, DG ENV.
- [15] Tam, V. W. Y., Kotrayothar, D., Xiao, J. (2015). [Long-term deformation behaviour of recycled aggregate concrete](#). *Construction and Building Materials*, 100:262–272.
- [16] Silva, R. V., de Brito, J., Dhir, R. K. (2014). [The influence of the use of recycled aggregates on the compressive strength of concrete: a review](#). *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 19(7):825–849.
- [17] Silva, R. V., De Brito, J., Dhir, R. K. (2014). [Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production](#). *Construction and Building Materials*, 65:201–217.
- [18] TCVN 11969:2018. *Cốt liệu lớn tái chế cho bê tông*.
- [19] Hoang, N. H., Ishigaki, T., Kubota, R., Tong, T. K., Nguyen, T. T., Nguyen, H. G., Yamada, M., Kawamoto, K. (2020). [Waste generation, composition, and handling in building-related construction and demolition in Hanoi, Vietnam](#). *Waste Management*, 117:32–41.
- [20] Nghiem, H. T., Phan, Q. M., Kawamoto, K., Ngo, K. T., Nguyen, H. G., Nguyen, T. D., Isobe, Y., Kawasaki, M. (2020). [An investigation of the generation and management of construction and demolition waste in Vietnam](#). *Detritus*, (12):135–149.
- [21] Nguyen, V. T., Tong, T. K., Dang, T. T. H., Tran, T. V. N., Nguyen, H. G., Nguyen, T. D., Isobe, Y., Ishigaki, T., Kawamoto, K. (2018). [Current status of construction and demolition waste management in vietnam: challenges and opportunities](#). *International Journal of GEOMATE*, 16(52).
- [22] Tuấn, N. K., Sơn, T. H., Hiền, N. X., Kiên, N. T., Huy, V. V., Cường, T. V. 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 (KHCN XD)-ĐHXD*, 12(7):107–116.
- [23] Kiên, T. T. (2017). *Nghiên cứu sử dụng phế thải xây dựng trong chế tạo bê tông*. Trường Đại học Xây dựng.
- [24] TCVN 2682:2009. *Tiêu chuẩn xi măng Pooc lăng – Yêu cầu kỹ thuật*.
- [25] TCVN 7570:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật*.
- [26] TCVN 7572:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử*.
- [27] TCVN 4506:2012. *Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*.
- [28] TCVN 3115:1993. *Bê tông nặng - Phương pháp xác định khối lượng thể tích*.
- [29] TCVN 3118:1993. *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén*.
- [30] RILEM CPC8 (1994). Modulus of elasticity of concrete in compression. *RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials*, 25–27.
- [31] Khatib, J. M. (2005). [Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate](#). *Cement and Concrete Research*, 35(4):763–769.
- [32] Lye, C.-Q., Dhir, R. K., Ghataora, G. S. (2016). [Elastic modulus of concrete made with recycled aggregates](#). *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 169(5):314–339.