



Bê tông sử dụng cốt liệu tái chế từ chất thải rắn xây dựng kết hợp với phụ phẩm công nghiệp tại Việt Nam
Concrete using recycled aggregates from construction and demolition waste and industrial by-products in Vietnam

Nguyễn Anh Đức^{1,*}, Nguyễn Phan Anh²

^{1,2}Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Từ khóa: TÓM TẮT

Chất thải rắn xây dựng
Phụ phẩm công nghiệp
Bê tông sử dụng cốt liệu tái chế
Phát triển bền vững

Việt Nam đang đối mặt với áp lực gia tăng từ lượng chất thải rắn xây dựng (CTRXD) và lượng phụ phẩm công nghiệp như tro bay (TB) hay xỉ hạt lò cao nghiền mịn (XLC) trong các thập niên gần đây. Những loại chất thải này không chỉ chiếm diện tích đất lớn mà còn tiềm ẩn nguy cơ gây ô nhiễm môi trường trầm trọng. Nghiên cứu này phân tích thực trạng của việc tái chế CTRXD và phụ phẩm công nghiệp tại Việt Nam, đồng thời đề xuất giải pháp sử dụng các vật liệu này trong chế tạo bê tông. Kết quả cho thấy, khi sử dụng cốt liệu tái chế kết hợp với XLC với các tỷ lệ thay thế xi măng 40% và 70%, TB với tỷ lệ 20% chất kết dính, cường độ chịu nén của các mẫu bê tông có tính năng thỏa mãn yêu cầu của TCVN 5574:2018 đối với bê tông cốt thép. Bên cạnh đó, các mẫu bê tông sử dụng XLC với tỷ lệ 40% cho thấy sự phát triển cường độ ở tuổi muộn cao hơn so với các mẫu có tỷ lệ thay thế 70%.

Keywords: ABSTRACT

Construction and demolition waste
Industrial by-products
Recycled aggregate concrete
Sustainable development

In recent decades, Vietnam has encountered growing challenges due to the accumulation of construction and demolition waste (CDW) and industrial by-products, including fly ash (FA) and ground granulated blast furnace slag (GGBFS). These materials not only require significant landfill space but also present considerable environmental risks. This study examines the current recycling practices for CDW and industrial by-products in Vietnam and explores their potential application in concrete production. Experimental findings indicate that incorporating recycled aggregates alongside GGBFS (at 40% and 70% cement replacement) and FA (at 20% binder weight) in concrete can make the compressive strength accordance with TCVN 5574:2018 for reinforced concrete. Furthermore, concrete specimens containing 40% GGBFS exhibited superior long-term strength development compared to those with a 70% replacement ratio.

* Nguyễn Anh Đức. Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: ducna.ctt@vimar.edu.vn

[https://www.doi.org/10.55228/JTST.14\(2\).105-115](https://www.doi.org/10.55228/JTST.14(2).105-115)

Ngày nhận bài: 19/12/2024; Ngày nhận bài sửa: 10/03/2025; Ngày chấp nhận đăng: 14/03/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/03/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Giới thiệu

Vào năm 2023, Việt Nam là quốc gia sản xuất xi măng đứng thứ ba trên thế giới với sản lượng 110 triệu tấn [1]. Khi quá trình đô thị hóa và nhu cầu phát triển cơ sở hạ tầng tiếp tục tăng trưởng mạnh, lượng chất thải rắn xây dựng (CTRXD) phát sinh đã tăng lên đáng kể. Bên cạnh đó, quá trình công nghiệp hóa ở nước ta cũng phát sinh một lượng lớn các loại phụ phẩm công nghiệp như tro bay (TB) từ các nhà máy nhiệt điện và xỉ hạt lò cao nghiền mịn (XLC) từ các nhà máy luyện gang thép. Nghiên cứu này xác định tình hình hiện trạng và khảo sát các phương pháp tái chế CTRXD, phụ phẩm công nghiệp hướng đến phát triển bền vững. Nghiên cứu này phân tích thực trạng của việc tái chế CTRXD và phụ phẩm công nghiệp tại Việt Nam, đồng thời đề xuất giải pháp sử dụng các vật liệu này trong chế tạo bê tông [2]. Kết quả cho thấy, khi sử dụng cốt liệu tái chế kết hợp với XLC với các tỷ lệ thay thế xi măng 40% và 70%, TB với tỷ lệ 20% chất kết dính, cường độ chịu nén của các mẫu bê tông có tính năng thỏa mãn yêu cầu của TCVN 5574:2018 đối với bê tông cốt thép. Bên cạnh đó, các mẫu bê tông sử dụng XLC với tỷ lệ 40% cho thấy sự phát triển cường độ ở tuổi muộn là 30.4% cao hơn so với các mẫu có tỷ lệ thay thế 70%.

2. Tổng quan

2.1. Chất thải rắn xây dựng và phụ phẩm công nghiệp

Theo dự báo, Hà Nội sẽ phát thải 9.431 tấn CTRXD/ ngày đêm vào năm 2025. Ngoài ra, theo một cuộc điều tra về quản lý CTRXD tại Việt Nam, 22% CTRXD bị đổ trái phép tại các địa điểm không xác định và khoảng 7% bị đổ trái phép tại các khu vực công cộng [3]. Với lượng CTRXD khổng lồ này, việc đổ thải trái phép gây ra những rủi ro

rất lớn cho sức khỏe con người và môi trường, ảnh hưởng đến cảnh quan đô thị, ô nhiễm không khí, ô nhiễm đất và ô nhiễm nước ngầm.

Tại khu vực Hà Nội, có 09 bãi chôn lấp CTRXD đã được cấp phép nhưng hiện nay chỉ còn 03 bãi chôn lấp vẫn còn khả năng tiếp nhận và có máy móc xử lý CTRXD tại hiện trường. Một số bãi xử lý đã ngừng hoạt động do không hiệu quả như trong Hình 1. Hiện tại, 03 bãi chôn lấp, xử lý CTRXD còn hoạt động tại Hà Nội nằm ở khu vực Thanh Trì, khu vực Pháp Vân, và khu vực Mỹ Đình. Một số hình thông tin của các bãi xử lý CTRXD được thể hiện trong và Bảng 1.

a)



b)



Hình 1. Hình ảnh các bãi xử lý CTRXD đã ngừng hoạt động. (a) Hà Nội, (b) Hưng Yên.

Bảng 1. Các bãi chôn lấp, xử lý CTRXD đang hoạt động tại Hà Nội.

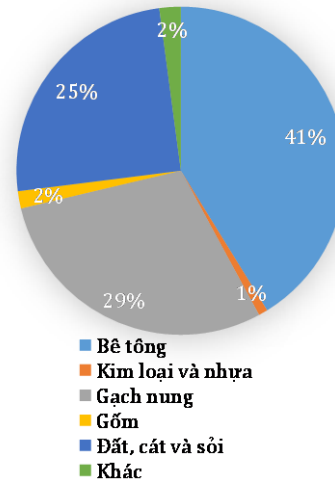
Hạng mục	Bãi chôn lấp, xử lý CTRXD		
	Thanh Trì	Pháp Vân	Mỹ Đình
Diện tích (m ²)	29.000	69.000	20.000
Đơn vị vận hành	Công ty CP xử lý chất thải và đầu tư phát triển môi trường Hà Nội	Công ty CP dịch vụ sản xuất Toàn Cầu	Công ty CP dịch vụ sản xuất Toàn Cầu
Loại chất thải tiếp nhận, xử lý	Bê tông, gạch, đá, gỗ, nhựa, đất.	Bê tông, gạch, đá, gỗ, nhựa, đất, thủy tinh, kim loại.	Bê tông, gạch, đá, gỗ, nhựa, đất, thủy tinh, kim loại.

Thành phần của CTRXD tại các bãi xử lý còn hoạt động được thể hiện trong Hình 2. Các mẫu CTRXD từ những bãi xử lý này được thu thập và thực hiện thí nghiệm xác định thành phần theo Phụ lục B của tiêu chuẩn JIS A 5021. Qua đó có thể thấy, thành phần CTRXD được xử lý ở các bãi này có thành phần chủ yếu là bê tông, vữa, đất, cát sỏi và gạch nung.

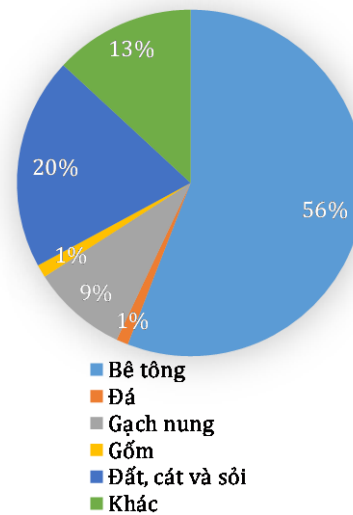
Theo báo cáo 58/BC-BCT của Bộ Công thương, hiện nay nhiệt điện đốt than cung ứng khoảng 38,1% tổng sản lượng. Vào năm 2025 các nhà máy nhiệt điện đốt than và khí sẽ cung ứng đến 64,9% lượng điện cho toàn quốc. Với 43 nhà máy hoạt động, lượng tro xỉ bị thải ra lên đến 30 triệu tấn mỗi năm [4]. Lượng tro xỉ này phần lớn được chôn lấp và có một phần được sử dụng trong lĩnh vực xây dựng.

Đối với xỉ lò cao, năm 2025 Việt Nam có thể thải ra 10 triệu tấn [5]. Nếu không được xử lý, tái chế thì lượng xỉ lò cao này sẽ chiếm dụng một diện tích đất chôn lấp lớn với nguy cơ gây ảnh hưởng trầm trọng đến môi trường.

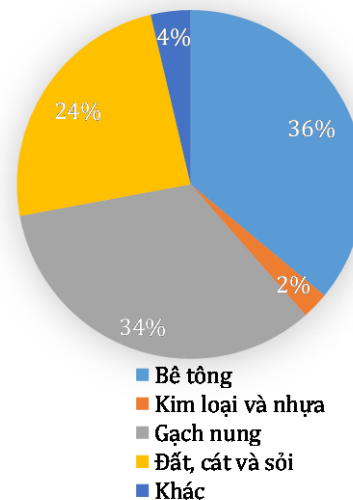
a)



b)



c)



Hình 2. Thành phần CTRXD tại các bãi xử lý CTRXD tại Hà Nội. (a) Khu vực Thanh Trì, (b) Khu vực Pháp Vân, (c) Khu vực Mỹ Đình.

Bảng 2. Tính chất của tro bay.

Hạng mục	Tro bay	
	Nhiệt điện	Nhiệt điện
	Uông Bí	Phả Lại
SiO ₂ (%)	55,60	58,91
Độ ẩm (%)	0,13	0,08
Mất khi nung (%)	4,28	4,68
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,35	2,22
Chỉ số hoạt tính cường độ tại 28 ngày (%)	85,3	94,8
SO ₃ (%)	0,17	0,03

Bảng 3. Tính chất của xỉ hạt lò cao nghiền mịn.

Hạng mục	Xi măng Pooc lãng xỉ lò cao PCB _{BFS} 40	Xỉ hạt lò cao nghiền mịn
Cường độ nén (Mpa)		
3 ngày	≥18 (I) ≥16 (II)	-
28 ngày	≥40	
Độ mịn (cm ² /g)	≥3300	5240
Thời gian đông kết		
Bắt đầu (phút)	≥45	-
Kết thúc (giờ)	≤10	
Độ ổn định thể tích	≤10,0	-
Khối lượng riêng (g/cm ³)	-	2,89
Độ ẩm (%)	-	0,40
Mất khi nung (%)	≤3,0	0,1
SiO ₂ (%)	-	35,06
Al ₂ O ₃ (%)	-	15,26
CaO (%)	-	41,21
MgO (%)	≤6,0	7,39
SO ₃ (%)	≤3,5	0,13
Cl ⁻ (%)	-	0,002

2.2. Giải pháp tái chế

Theo thông tư số 08/2017/TT-BXD ngày 16 tháng 05 năm 2017, Bộ Xây dựng hướng dẫn tái chế CTRXD loại bê tông và gạch vụn có thể được tái chế làm cốt liệu thô, vật liệu sản xuất gạch, tấm tường, sản phẩm vật liệu

xây dựng khác hoặc cũng có thể sử dụng cho san nền [6]. Tuy nhiên, hiện nay Việt Nam mới chỉ ban hành TCVN 11969:2018 – Cốt liệu lớn tái chế cho bê tông chứ chưa có tiêu chuẩn về cốt liệu nhỏ tái chế cho bê tông hay các tiêu chuẩn về vật liệu sản xuất gạch không nung, vật liệu san nền từ CTRXD nên việc triển khai trên quy mô lớn vẫn còn gặp nhiều khó khăn.

Có thể thấy rằng, những giải pháp tiềm năng nhất để tái chế CTRXD đó là tái chế làm vật liệu san lấp, vật liệu sản xuất gạch không nung, hay làm cốt liệu trong bê tông và vữa. Nghiên cứu này tập trung vào giải pháp tái chế CTRXD và sử dụng dưới dạng cốt liệu tái chế trong bê tông. Khi đó, CTRXD không còn là phế thải mà trở thành một loại vật liệu mới được sử dụng trong bê tông nhằm thúc đẩy phát triển bền vững ngành xây dựng.

Đối với phụ phẩm công nghiệp, Việt Nam đã ban hành tiêu chuẩn TCVN 10302:2014 – Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng; và TCVN 11589:2016 – Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa. Bên cạnh đó, các đơn vị sản xuất cũng đã thương mại hóa hai loại phụ phẩm công nghiệp này trên thị trường. Chính vì thế việc ứng dụng các loại vật liệu này làm phụ gia khoáng/ phụ gia độn trong bê tông đã được triển khai góp phần tạo nên một vòng tròn khép kín cho các loại vật liệu này khi phụ phẩm đầu ra của các ngành sản xuất được sử dụng như vật liệu đầu vào cho ngành xây dựng.

3. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

3.1. Vật liệu sử dụng

3.1.1. Chất kết dính

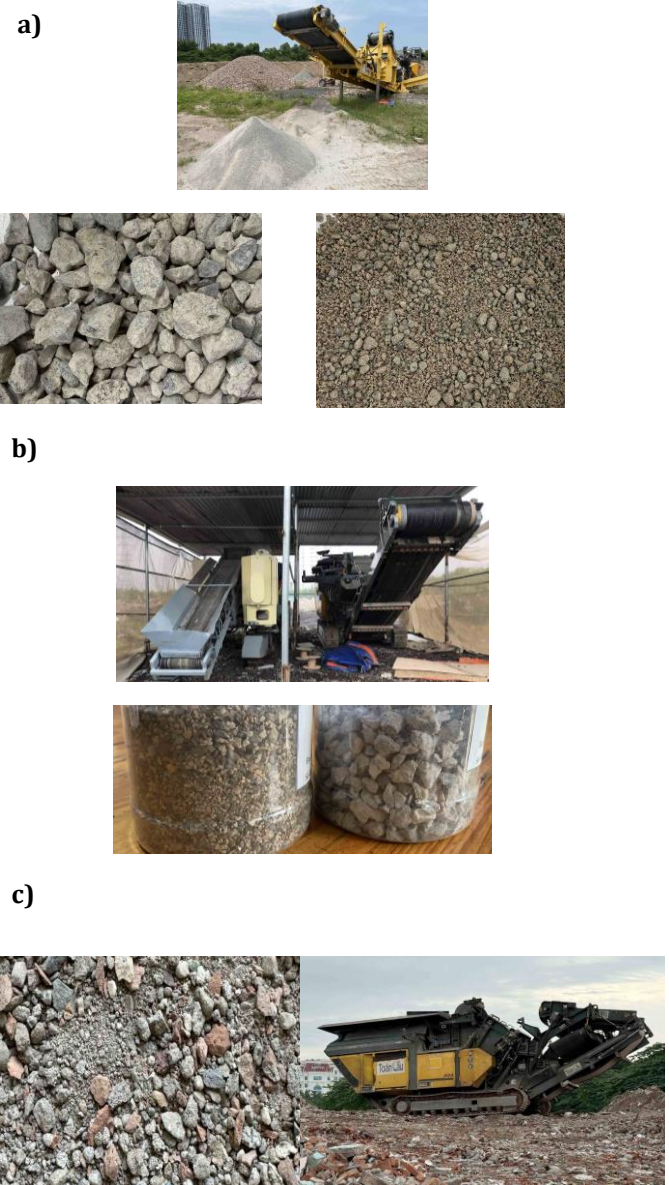
Xi măng sử dụng trong nghiên cứu là xi măng Portland PC40. **Bảng 2** thể hiện các tính chất của tro bay từ nhà máy nhiệt điện Phả

Lại. Chất lượng của tro bay tại nhà máy này được phân loại F theo TCVN 10302:2014. Ngoài ra, xỉ lò cao S95 Hòa Phát với các tính chất như trong **Bảng 3** được sử dụng trong các mẫu bê tông của nghiên cứu này.

3.1.2. Cốt liệu

Chất lượng của cốt liệu tự nhiên và một số loại cốt liệu tái chế được thể hiện trong **Bảng 4**. Các loại vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này là đá tự nhiên (DTN) có kích thước lớn nhất 20 mm, cát sông (CTN), đá tái chế (DTC) và cát tái chế (CTC). Trong đó DTC và CTC được sản xuất từ chất thải bê tông không lẫn gạch nung có độ hút nước lần lượt là 6,21% và 9,71%.

So sánh với một số loại cốt liệu tái chế khác tại cả ba bãi xử lý CTRXD tại Hà Nội, cốt liệu tái chế đều được sản xuất bằng máy nghiền tác động RM 70GO! 2.0 và sau đó được sàng phân loại thành cốt liệu lớn tái chế và cốt liệu nhỏ tái chế như trong **Hình 3**. Cốt liệu lớn tái chế được sản xuất có tính chất thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 11969:2018. Cốt liệu nhỏ tái chế trong nghiên cứu này thỏa mãn các yêu cầu của tiêu chuẩn JIS A 5023.

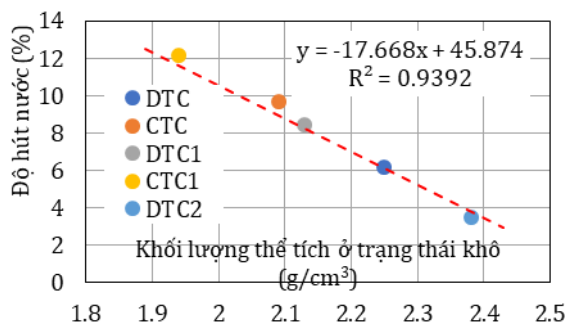


Hình 3. Máy nghiền CTRXD và sản phẩm cốt liệu tái chế của các bãi xử lý CTRXD. a) Khu vực Pháp Vân, Hà Nội, b) Khu vực Thanh Trì, Hà Nội, c) Khu vực Mỹ Đình, Hà Nội.

Bảng 4. Chất lượng của cốt liệu tự nhiên và một số loại cốt liệu tái chế.

Hạng mục ¹	DTN	CTN	DTC	CTC	DTC ₁	CTC ₁	DTC ₂	CTC ₂
Nguồn gốc vật liệu ²	-	-	PV	PV	TT	TT	ĐA	MĐ
Thành phần vật liệu gốc ³	-	-	BT	BT	BT, GN	BT, GN	BT	BT, GN
Máy móc sản xuất ⁴	-	-	TĐ	TĐ	TĐ	TĐ	KH	TĐ
Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hòa nước (g/cm ³)	2,64	2,62	2,39	2,29	2,31	2,18	2,62	2,17
Khối lượng thể tích ở trạng thái khô (g/cm ³)	2,61	2,58	2,25	2,09	2,13	1,94	2,38	1,98
Độ hút nước (%)	1,09	1,47	6,21	9,71	8,45	12,15	3,53	9,57
Mô đun độ mịn	6,67	2,61	6,73	3,31	-	2,65	-	3,08
Hàm lượng hạt nhỏ hơn 75 μm (%)	1,2	2,2	1,2	5,2	-	-	-	-
Hàm lượng vật liệu tạp lai (%)	-	-	0,22	-	31,2	-	-	-

So sánh các loại cốt liệu tái chế này, loại DTC₂ sản xuất tại khu vực Đông Anh, Hà Nội có chất lượng tốt nhất với khối lượng thể tích ở trạng thái khô là 2,38 g/cm³ và độ hút nước là 3,53% [7]. Điều này là do nguyên liệu sản xuất không lẫn gạch nung và chất lượng của chất thải bê tông đầu vào tốt. Hình 4 cho thấy mối quan hệ giữa khối lượng thể tích ở trạng thái khô với độ hút nước với tính tương quan cao. Khối lượng thể tích ở trạng thái khô càng lớn, độ hút nước càng nhỏ. Hiện tượng này là do hàm lượng vữa dính bám trên bề mặt cốt liệu tái chế và hàm lượng gạch nung có trong cốt liệu tái chế lớn làm cho khối lượng riêng thấp hơn và độ hút nước cao hơn, làm giảm chất lượng của cốt liệu tái chế [8].



Hình 4. Mối quan hệ giữa khối lượng thể tích ở trạng thái khô và độ hút nước.

Trong đó DTC là cốt liệu lớn tái chế; CTC là cốt liệu nhỏ tái chế; CTRXD là các vãi xử

lý; PV là khu vực Pháp Vân; TT là khu vực Thanh Trì; ĐA là khu vực Đông Anh; MĐ là khu vực Mỹ Đình; BT là chất thải bê tông; GN là chất thải gạch nung; TĐ là máy nghiền tác động RM 70GO! 2.0, KH là máy nghiền kẹp hàm.

3.2. Thiết kế thành phần cấp phối

Thiết kế thành phần cấp phối được thể hiện trong Bảng 5. Các mẫu bê tông thực hiện trong nghiên cứu này có dạng hình trụ với đường kính $d=100\text{mm}$, chiều cao $h=200\text{mm}$ như trong Hình 5. Tất cả các mẫu đều có tỷ lệ nước/chất kết dính (W/B) là 55% để kết hợp với các nghiên cứu khác của nhóm tác giả nhằm mục đích xây dựng hàm tương quan giữa cường độ chịu nén và tỷ lệ W/B trong tương lai. Thiết kế thành phần cấp phối của các mẫu thí nghiệm được tiến hành theo tài liệu JASS 5 – Reinforced concrete work của Hiệp hội Kiến trúc Nhật Bản [9], đảm bảo đạt cường độ thỏa mãn cấp B15 theo TCVN 5574:2018 để ứng dụng được cho kết cấu bê tông cốt thép.



Hình 5. Mối quan hệ giữa khối lượng thể tích ở trạng thái khô và độ hút nước.

Bảng 5. Thành phần cấp phối bê tông.

Mẫu thí nghiệm ¹	Tỷ lệ thay thế ² (%)						Khối lượng đơn vị ³ (kg/m ³)					
	DTC	CTC	XLC	TB	W	C	XLC	TB	CTN	CTC	DTN	DTC
XM-DTNCTN	-	-	-	-	180	327	-	-	895	-	987	-
XLC40-TBDTNCTN	-	-	40	20	173	189	126	63	841	-	987	-
XLC40-TBDTC50CTN	50	-	40	20	173	189	126	63	841	-	493	447
XLC40-TBDTC50CTC30	50	30	40	20	173	189	126	63	589	221	493	447
XLC40-TBDTCCTN	100	-	40	20	173	189	126	63	841	-	-	893
XLC70-DTNCTN	-	-	70	-	180	98	229	-	879	-	987	-
XLC70-DTNCTC	-	100	70	-	180	98	229	-	-	768	987	-
XLC70-DTC50CTC50	50	50	70	-	180	98	229	-	440	384	493	447
XLC70-DTCCTN	100	-	70	-	180	98	229	-	879	-	-	893

1 Mẫu thí nghiệm có W/B = 55% được đặt tên theo dạng “vật liệu chất kết dính – cốt liệu sử dụng”, sử dụng phụ gia hóa dẻo gốc Naphthalene formaldehyde sunfonate với hàm lượng 1% khối lượng chất kết dính, con số bên cạnh vật liệu thể hiện tỷ lệ thay thế, trường hợp không ghi số thể hiện tỷ lệ thay thế 100%. 2 DTC: Đá tái chế, CTC: Cát tái chế, XLC: Xi lò cao nghiền mịn, TB: Tro bay; 3 W: Nước, C: Xi măng, DTN: Đá tự nhiên, CTN: Cát tự nhiên (cát sông).

Theo tiêu chuẩn JIS R 5211:2009 của Hiệp hội kiến trúc Nhật Bản, XLC có thể sử dụng thay thế cho xi măng trong khoảng từ 30% -60% tương ứng với loại B, trên 60% đến dưới 70% tương ứng với loại C [10]. Sử dụng quá nhiều XLC thay thế cho xi măng sẽ làm chậm phản ứng hydrat hóa ở giai đoạn đầu. Bên cạnh đó, sản phẩm của phản ứng hydrat hóa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ không đủ để phản ứng với các thành phần của XLC làm cường độ chịu nén khó phát triển ở tuổi muộn [11]. Trong nghiên cứu này, XLC được sử dụng với tỷ lệ 40% (XLC40) và 70% (XLC70) thay thế cho xi măng theo khối lượng căn cứ theo các tỷ lệ thay thế cấp B và cấp C tại JIS R 5211:2009.

Tro bay được sử dụng với tỷ lệ 20% chất kết dính theo khối lượng làm phụ gia độn giúp cải thiện cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi muộn [12] và ức chế phản ứng kiềm silicat (ASR) theo khuyến cáo của Bộ Đất đai, Hạ tầng và Giao thông Nhật Bản [13]. Việc sử dụng tỷ lệ thay thế 20% của tro bay kết hợp với XLC ở các tỷ lệ thay thế 40% và 70% cũng giúp tăng tối đa lượng phụ phẩm công nghiệp sử dụng trong bê tông nhằm nâng cao hiệu quả của việc tái chế.

Các mẫu bê tông được thực hiện thí nghiệm cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi tại 28 ngày theo tiêu chuẩn. Ngoài ra, với đặc trưng của XLC là tính thủy lực tiềm ẩn, đặc trưng của tro bay là phản ứng pozzolan tạo ra thành phần calcium silicate

hydrate (C-S-H) và calcium aluminum silicate hydrate (C-A-S-H) giúp gia tăng cường độ chịu nén ở tuổi muộn [2] nên các mẫu bê tông được tiến hành thí nghiệm tại 91 ngày để đánh giá hiệu quả phát triển cường độ theo khuyến cáo của Hiệp hội kiến trúc Nhật Bản [9].

Đối với bê tông tươi, khối lượng nước đơn vị được lựa chọn thông qua trộn thử kết hợp với phụ gia hóa dẻo được sử dụng với tỷ lệ 1% khối lượng chất kết dính để đạt độ sụt mục tiêu là 18 ± 2 cm. Cốt liệu trộn bê tông được sử dụng ở trạng thái bão hòa khô bề mặt. Quy trình trộn bê tông tuân thủ khuyến cáo của Hiệp hội kiến trúc Nhật Bản [9].

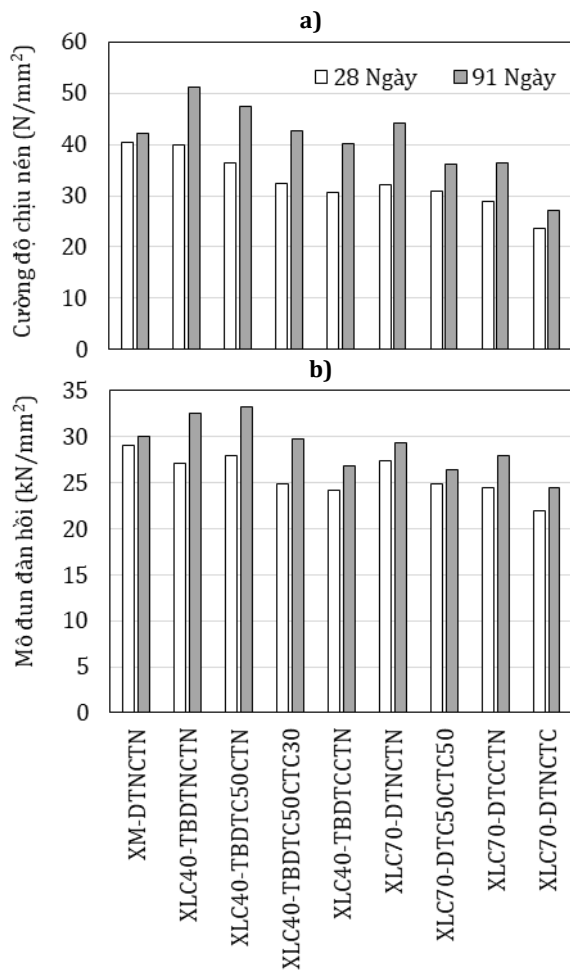
3.3. Phương pháp thí nghiệm

Đối với bê tông ở trạng thái tươi, độ sụt được đo theo TCVN 3106:2022. Sau khi đúc, mỗi tổ mẫu bao gồm 12 mẫu được dỡ khuôn sau 24 giờ và bảo dưỡng ngâm trong nước (độ ẩm $95 \pm 5\%$), nhiệt độ phòng, theo TCVN 3105:2022. Các mẫu bê tông được thực hiện thí nghiệm cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi tại 28 ngày và 91 ngày. Thí nghiệm cường độ chịu nén thực hiện theo TCVN 3118:2022. Thí nghiệm mô đun đàn hồi được thực hiện theo Tiêu chuẩn Công nghiệp Nhật Bản JIS A 1149 có sử dụng các cảm biến để đo số liệu.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Bê tông ở trạng thái tươi và trạng thái đóng rắn

Đối với bê tông ở trạng thái tươi, tất cả các tổ mẫu đều thỏa mãn độ sụt mục tiêu 18 ± 2 cm. Đối với bê tông ở trạng thái đóng rắn, kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi được thể hiện trong **Hình 6**.



Hình 6. Bê tông sử dụng cốt liệu tái chế kết hợp với tro bay và xỉ hạt lò cao nghiền mịn. (a) Cường độ chịu nén, (b) mô đun đàn hồi.

Kết quả cho thấy, khi cốt liệu tái chế được sử dụng càng nhiều, cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi có xu hướng càng giảm so với mẫu đối chứng. Nguyên nhân của xu hướng này là do hàm lượng vữa dính bám lớn trên bề mặt làm giảm chất lượng của cốt liệu tái chế gây ảnh hưởng đến tính năng của bê tông. Bên cạnh đó, trong các mẫu sử dụng tro bay và XLC40, sự phát triển cường độ và mô đun đàn hồi từ 28 ngày đến 91

ngày tăng mạnh so với mẫu đối chứng. Hiện tượng này là do sản phẩm của phản ứng thủy hóa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ phản ứng với các thành phần của tro bay và XLC như SiO_2 , Al_2O_3 , tạo ra các gel cứng như calcium silicate hydrate (C-S-H) và calcium aluminum silicate hydrate (C-A-S-H) giúp gia tăng cường độ chịu nén ở tuổi muộn [2], cho thấy sự xuất hiện của phản ứng pozzolanic của tro bay và tính thủy lực tiềm ẩn của XLC.

Đối với các mẫu XLC40, sự phát triển cường độ từ 28 ngày đến 91 ngày tăng trung bình là 30,4%. Trong khi ở các mẫu XLC70, sự phát triển cường độ tăng trung bình là 24,1%. Dữ liệu này cho thấy việc sử dụng kết hợp XLC với tro bay ở các mẫu XLC40 cho hiệu quả tăng cường độ ở tuổi muộn tốt hơn các mẫu XLC70. Hiện tượng này là do khối lượng xi măng trong các mẫu XLC40 cao hơn các mẫu XLC70 sẽ tạo ra nhiều sản phẩm $\text{Ca}(\text{OH})_2$ của phản ứng thủy hóa hơn, dẫn đến phản ứng pozzolanic và phản ứng thủy lực tiềm ẩn tạo ra các gel cứng làm tăng cường độ của bê tông ở tuổi muộn một cách hiệu quả.

Kết quả cho thấy, việc ứng dụng loại bê tông có sử dụng cốt liệu tái chế kết hợp với phụ phẩm công nghiệp với các cấp bê tông yêu cầu tuân thủ theo TCVN 5574:2018 vào các kết cấu bê tông cốt thép của công trình giao thông hoặc công trình xây dựng dân dụng là hoàn toàn khả thi.

4.2. So sánh kết quả nghiên cứu

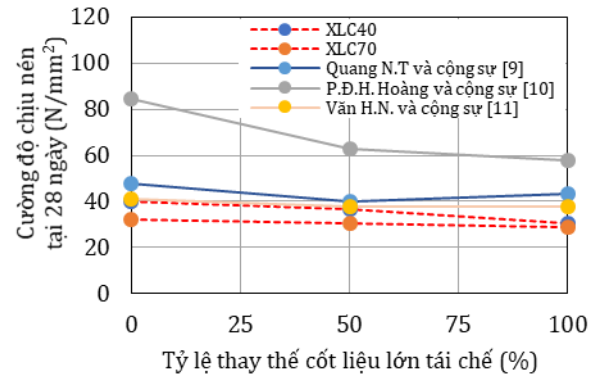
Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả bài báo này được so sánh với các nghiên cứu của P.Đ.H. Hoàng và cộng sự [14], Văn H. N. và cộng sự [15], Quang N.T. và cộng sự [7] như trong **Bảng 6** và **Hình 7**. Nghiên cứu của P.Đ.H. Hoàng và cộng sự có tính tương đồng khi sử dụng kết hợp cốt liệu tái chế và tro bay, XLC. Tuy nhiên trong nghiên cứu của nhóm tác giả bài báo này, XLC được sử dụng thay thế cho xi

măng với mục đích tạo ra vật liệu có tính thân thiện với môi trường, trong khi nghiên cứu của P.Đ.H. Hoàng và cộng sự thì khối lượng xi măng được giữ nguyên với mục đích tăng lượng chất kết dính để sản xuất bê tông cường độ cao.

Tất cả các loại cốt liệu lớn tái chế sử dụng trong các nghiên cứu này đều thỏa mãn TCVN 11969:2018. Có thể thấy rằng, cường độ chịu nén tại 28 ngày trong tất cả các nghiên cứu hầu hết có xu hướng giảm khi tỷ lệ thay thế của cốt liệu lớn tái chế tăng lên. Chỉ có nghiên cứu của Quang N.T. và cộng sự sử dụng loại DTC₂ trong Bảng 4 có chất lượng tốt nên không quan sát được xu hướng này. Đối với các mẫu XLC40, cường độ chịu nén của các mẫu sử dụng cốt liệu lớn tái chế với tỷ lệ thay thế 0% và 50% có thể đạt tương đương với các mẫu chỉ sử dụng xi măng trong nghiên cứu của Văn H.N. và cộng sự.

Bảng 6. So sánh kết quả nghiên cứu.

Hạng mục	So sánh các nghiên cứu			
	Nghiên cứu này	NC1 ¹	NC2 ²	NC3 ³
Loại chất kết dính	Xi măng, xỉ lò cao	Xi măng, xỉ lò cao	Xi măng	Xi măng
Tỷ lệ W/B (hoặc W/C)	55%	29%	55%	39%
Nguồn gốc cốt liệu tái chế	Khu vực Pháp Vân	Khu vực Thanh Trì	Nhật Bản	Khu vực Đông Anh
Loại cốt liệu thay thế	Cốt liệu lớn tái chế với tỷ lệ thay thế 0%, 50%, 100%			
Thành phần cốt liệu tái chế	Không lẫn gạch nung	Có lẫn gạch nung	Không lẫn gạch nung	Không lẫn gạch nung



Hình 7. So sánh kết quả cường độ chịu nén tại 28 ngày giữa các nghiên cứu.

Có thể thấy rằng, tại Việt Nam mặc dù chưa có nhiều nghiên cứu về tái chế CTRXD làm cốt liệu trong bê tông hay kết hợp loại vật liệu này với phụ phẩm công nghiệp như XLC hay tro bay trong bê tông, nhưng các kết quả của một số nghiên cứu được tổng hợp đánh giá trong bài báo này cho thấy một giải pháp tiềm năng để đẩy mạnh ứng dụng các loại vật liệu này vào các công trình giao thông và các công trình xây dựng dân dụng, góp phần thúc đẩy phát triển bền vững cho ngành xây dựng nói chung.

5. Kết luận

Các loại bê tông trong nghiên cứu này sử dụng cốt liệu tái chế từ CTRXD kết hợp phụ phẩm công nghiệp như tro bay và XLC đều có cường độ chịu nén lớn hơn 20 MPa, đảm bảo sử dụng cho kết cấu bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018. Các mẫu XLC40 có sự phát triển cường độ từ 28 ngày đến 91 ngày cao hơn so với XLC70. Khi so sánh với các nhóm tác giả khác, kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả bài báo này cho thấy sự tương đồng nhất định khi sử dụng cốt liệu lớn tái chế.

Ngoài ra, nhóm tác giả bài báo này đã giảm tối đa lượng xi măng sử dụng, tăng lượng cốt liệu tái chế từ CTRXD và phụ phẩm công nghiệp trong bê tông với định hướng phát triển vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường. Kết quả nghiên cứu có giá trị ứng

dụng cao cho các công trình giao thông và công trình xây dựng dân dụng trong bối cảnh Việt Nam đang cắt giảm phát thải khí nhà kính và giảm thiểu tác động môi trường liên quan đến CTRXD và phụ phẩm công nghiệp vốn đang trở nên ngày càng trầm trọng hướng đến phát triển bền vững cho ngành xây dựng.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Nguyễn Anh Đức, Nguyễn Phan Anh: Thu thập dữ liệu, thực hiện thí nghiệm, tổng hợp kết quả, phản hồi ý kiến phản biện, viết – bản thảo gốc.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT24-25.97.

1st Nguyễn Anh Đức*. *Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.*

2nd Nguyễn Phan Anh. *Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.*

*Corresponding author: ducna.ctt@vamaru.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] U. S. G. Survey, "Mineral Commodity Summaries 2024," 2024. Doi: [10.3133/mcs2024](https://doi.org/10.3133/mcs2024)
- [2] D. Shi, J. Ye, and W. Zhang, "Effects of activator content on properties, mineralogy, hydration and microstructure of alkali-activated materials synthesized from calcium silicate slag and ground granulated blast furnace slag," *Journal of Building Engineering*, vol. 32, p. 101791, Nov. 2020, doi: [10.1016/j.jobe.2020.101791](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101791)
- [3] N. H. Hoang *et al.*, "Waste generation, composition, and handling in building-related

construction and demolition in Hanoi, Vietnam," *Waste Management*, vol. 117, pp. 32-41, Nov. 2020, doi: [10.1016/j.wasman.2020.08.006](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.006).

- [4] Bộ Công Thương, "Báo cáo tình hình thực hiện các dự án điện trong quy hoạch điện VII điều chỉnh," 2019. <https://moit.gov.vn/upload/2005517/20210705/bc-32-bct-quy-hoach-dieu-chinh-dien-77f94.pdf.PDF>
- [5] V. V. H. e. al., "Cement with super low Clinker content obtains blast furnace slag," *Journal of Architecture and Construction Science*, vol. 42, pp. 65-68, 2021. <https://vjol.info.vn/index.php/hau/article/view/63679>
- [6] Bộ Xây dựng (2017). *Thông tư số 08/2017/TT-BXD Quy định về quản lý chất thải rắn xây dựng.* <https://vanban.chinhphu.vn/default.aspx?pageid=27160&docid=190272>
- [7] N. n. T. Quang, T. V. Cường, N. n. N. Tân, N. H. Tân, and N. n. H. n. Giang, "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 (TCKHCN XD)-ĐHXDHN*, vol. 15, no. 1V, pp. 48-59, 2021, doi: [10.31814/stce.nuce2021-15\(1V\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(1V)-05)
- [8] B. Wang, L. Yan, Q. Fu, and B. Kasal, "A comprehensive review on recycled aggregate and recycled aggregate concrete," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 171, p. 105565, Aug. 2021, doi: [10.1016/j.resconrec.2021.105565](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105565).
- [9] *JASS 5 - Reinforced concrete work*, A. I. o. Japan, 2009. <https://www.scribd.com/document/806782065/JASS-5-RC-2009-English>
- [10] *JIS R 5211:2009, Portland blast-furnace slag cement* A. I. o. Japan, 2009. <https://kikakurui.com/r5/R5211-2019-01.html>
- [11] S. Oh, J. Kim, C. Song, and S. Choi, "Effects of fineness and substitution rate of GGBFS on material characteristics of GGBFS-blended cement mortars: Hydration, non-evaporable water, pore structure, mechanical properties, self-desiccation, and autogenous shrinkage," *Journal of Building Engineering*, vol. 92, p. 109741, Sep. 2024, doi: [10.1016/j.jobe.2024.109741](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109741)
- [12] Y. Dosho, "Effect of Mineral Admixtures on the Performance of Low-Quality Recycled Aggregate Concrete. Crystals 2021, 11, 596," 2021, doi: [10.3390/cryst11060596](https://doi.org/10.3390/cryst11060596)
- [13] I. The Ministry of Land, Transport and Tourism of Japan, "Construction by-product survey

- Report 2018," 2020. [Online]. Available: <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001334705.pdf>
- [14] P. D. H. Hoang, N. T. Sang, and V. B. Duc, "Effect of recycled aggregate content from burnt clay bricks and waste concrete on mechanical properties of high strength concrete," *Transport and Communications Science Journal*, vol. 71, no. 8, pp. 944-955, 2020, doi: [10.47869/tcsj.71.8.6](https://doi.org/10.47869/tcsj.71.8.6).
- [15] H. N. Van, Y. Dosho, D. N. Anh, and S. N. Thanh, "Performance Evaluation and Mix Proportion Design of Concrete Using Low-quality Recycled Aggregate in Vietnam," in *International Conference on Sustainability in Civil Engineering*, 2022: Springer, pp. 45-57. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2475-8876.12417>