

Tổng quan về ứng dụng cốt liệu tái chế và bê tông cốt liệu tái chế trong xây dựng

Review on the application of recycled aggregates and recycled aggregates concrete in construction

> PGS.TS NGUYỄN THANH SANG¹, NGÔ VĂN BÌNH²

¹Khoa xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải

²Khoa xây dựng, Học viện hàng không Việt Nam

TÓM TẮT

Sử dụng cốt liệu tái chế từ chất thải phá dỡ công trình xây dựng có thể bảo tồn tài nguyên cốt liệu tự nhiên, giảm nhu cầu chôn lấp và góp phần xây dựng môi trường xây dựng bền vững. Nghiên cứu này cung cấp cái nhìn tổng quan về cốt liệu tái chế (RA) và bê tông cốt liệu tái chế (RAC) với: tính chất của vật liệu (tính chất vật lý, hóa học và cơ học), và các ứng dụng trong xây dựng. Ngoài ra, các phương pháp cải thiện tính chất cơ lý của RAC cũng được đề cập, bao gồm: giảm độ xốp của cốt liệu tái chế, số lượng lớp vữa cũ trên cốt liệu tái chế và cải thiện tính chất mà không cần điều chỉnh cốt liệu tái chế (tức là phương pháp trộn bê tông và bổ sung cốt thép). Hơn nữa, một số ứng dụng RAC tiên tiến nhất, những hạn chế và thách thức của ứng dụng RAC cũng được xem xét. Cuối cùng, triển vọng nghiên cứu và ứng dụng RAC trong tương lai tại Việt Nam và trên thế giới cũng sẽ được thảo luận.

Từ khóa: Cốt liệu tái chế; bê tông cốt liệu tái chế; tính chất cơ học; cường độ chịu nén; ứng dụng cốt liệu tái chế.

ABSTRACT

Using recycled aggregate from construction and demolition waste can conserve natural aggregate resources, reduce the need for landfills and contribute to a sustainable built environment. This study provides a comprehensive overview of recycled aggregate (RA) and recycled aggregate concrete (RAC) in terms of: properties of materials (physical, chemical, and mechanical properties), construction application. In addition, methods to improve the mechanical properties of RAC are also mentioned, including: reducing the porosity of recycled aggregates, the quantity of old mortar layer on recycled aggregates and improving properties without adjusting recycled aggregates (i.e. concrete mixing methods and reinforcement addition). Furthermore, some state-of-the-art RAC applications, the limitations and challenges of the RAC application are also considered. Finally, future research prospects and applications of RAC in Vietnam and around the world are discussed.

Keywords: Recycled aggregate; recycled aggregate concrete; mechanical Properties; compressive strength; application.

1. GIỚI THIỆU

Trái đất đang chứng kiến tình trạng suy thoái môi trường như hiện tượng nóng lên toàn cầu hoặc khan hiếm tài nguyên. Để đối phó với những mối đe dọa như vậy, chính phủ các nước đang hành động. Ví dụ, Thỏa thuận Paris năm 2015 tập trung vào việc cắt giảm phát thải khí nhà kính. Thỏa thuận Xanh châu Âu, được thông qua vào năm 2020, đưa ra các sáng kiến rằng sẽ không có lượng khí thải carbon (trung hòa carbon) vào năm 2050 và tăng trưởng kinh tế sẽ tách rời khỏi việc sử dụng tài nguyên. Chính sách tương tự cũng được Chính phủ Trung Quốc thực hiện nhằm đạt được mục tiêu trung hòa carbon vào năm 2060. Bê tông xi măng, loại vật liệu xây dựng được sử dụng rộng rãi nhất, đã thống trị thị trường vật liệu xây dựng từ những năm 1900 [1], chiếm khoảng 8% tổng lượng khí thải carbon dioxide toàn cầu [2]. Người ta chấp nhận rộng rãi rằng bê tông là vật liệu tổng hợp bao gồm các cốt liệu (tức là cát, sỏi hoặc đá dăm) được liên kết với nhau bằng chất kết dính

xi măng (tức là hỗn hợp nước và vật liệu kết dính). Sản lượng xi măng của thế giới đã tăng gấp ba lần từ 1,10 lên 3,27 tỷ tấn trong hai thập kỷ qua. Với việc xây dựng ngày càng tăng, ước tính sản lượng xi măng có thể đạt 4,83 tỷ tấn vào năm 2030 [3]. Điều này có thể cung cấp cho việc sản xuất khối lượng bê tông lớn, đòi hỏi phải tăng dần các nguồn tài nguyên như cốt liệu tự nhiên (NA), thường chiếm 60-75% tổng khối lượng bê tông. Năm 2015, khoảng 48,3 tỷ tấn NA đã được tiêu thụ trên toàn thế giới và mức tăng trưởng cứ sau 5 năm được ước tính là hơn 5% (Bảng 1) [4]. Người ta dự đoán rằng nhu cầu NA trong hai hoặc ba thập kỷ tới sẽ tăng gấp đôi.

Số lượng chất thải phá dỡ công trình xây dựng (CDW) ngày càng tăng dẫn đến nhu cầu về một bãi chôn lấp lớn, thậm chí có thể chiếm cả đất nông nghiệp. Zheng và cộng sự. [5] báo cáo rằng khoảng 7,5 tỷ m³ CDW đã được đổ tại các bãi chôn lấp ở Trung Quốc vào năm 2013, có thể chiếm một nửa tổng diện tích đất của Singapore nếu chiều cao bãi rác là 20m. Khó khăn về không gian chôn lấp cũng có thể dẫn đến những hậu quả khác như chi phí xử

lý chất thải và chi phí môi trường tăng mạnh. Ngoài ra, CDW có thể chứa các vật liệu nguy hiểm như chất bịt kín, chất kết dính, sơn gốc chì hoặc thủy ngân (ví dụ: đèn huỳnh quang) [6]. Những chất ô nhiễm này sẽ dẫn đến ô nhiễm đất và nước ngầm.

Bảng 1. Tổng mức tiêu thụ cốt liệu xây dựng trên thế giới (Đơn vị: tỷ tấn) (Freedonia Group, Inc. (Group, 2019)) [4]

	Năm			% tăng trưởng hàng năm	
	2005	2010	2015	2005-2010	2010-2015
Bắc Mỹ	3.3	3.0	3.7	-1.7	4.3
Tây Âu	2.9	2.6	3.1	-2.1	3.0
Châu á TBD	16.0	24.8	32.6	9.1	5.7
Khu vực khác	5.1	7.1	8.9	6.6	5.0
Toàn thế giới	27.3	37.4	48.3	6.5	5.2

Trong bối cảnh trên, các chính phủ, nhà khoa học và ngành công nghiệp đã thực hiện nhiều hành động về tái chế và tái sử dụng CDW để giảm tác động tiêu cực đến môi trường và kinh tế. Ví dụ, Liên minh châu Âu đặt mục tiêu vào năm 2008 rằng tỷ lệ CDW không độc hại sẽ giảm 70% tính theo trọng lượng vào năm 2020. Theo Pacheco-Torgal et al. [7], điều này chỉ có thể đạt được nếu mức tăng trưởng hàng năm của ngành tái chế là khoảng 2%, trong khi trên thực tế, mức tăng trưởng của nó chỉ là 1%. Thông thường,

Bảng 2. Danh sách các đánh giá mới nhất về RA và RAC [8].

Tài liệu tham khảo	Trọng tâm chính
• Silva et al. (Silva và cộng sự., 2018)	• Hiệu suất ở trạng thái mới của RAC như khả năng thi công, độ sụt, sự phân tách tĩnh, nhiệt độ hydrat hóa, hàm lượng không khí của bê tông tươi và mật độ tươi.
• Guo et al. (Guo và cộng sự., 2018)	• Độ bền của RAC, ví dụ: tính thấm, phản ứng kiềm-silica và khả năng chống băng giá.
❖ Tam et al. (Tam và cộng sự.,)	❖ Các phương pháp cải thiện đặc tính vi cấu trúc của RAC như cacbonat hóa, lắng đọng sinh học hoặc phụ gia khoáng.
❖ Tam et al. (Tam và cộng sự., 2020)	• Cơ chế cacbon hóa và công nghệ cacbonat hóa để cải thiện hiệu suất RA và RAC.
❖ Liang et al. (Liang và cộng sự., 2020)	❖ Các phương pháp tăng cường (ví dụ: nghiền, ngâm trước, nhũ tương polymer, bổ sung pozzolan, lắng đọng sinh học và cacbonat hóa) trên cốt liệu từ bê tông tái chế để áp dụng RAC
❖ Shi et al. (Shi và cộng sự., 2016)	❖ Đánh giá các phương pháp nâng cao
❖ Liang et al. (Liang và cộng sự.,2021)	❖ Vận chuyển clorua để ăn mòn thép trong RAC
❖ Verian et al. (Verian và cộng sự., 2018)	• Các đặc tính của RAC và tính chất cơ học của RAC chứa cốt liệu bê tông tái chế, chẳng hạn như cường độ chịu nén, cường độ uốn, cường độ kéo đứt, mô đun đàn hồi E
❖ Thomas et al. (Thomas và cộng sự., 2018)	❖ Hiệu suất lâu dài như tính thấm clorua, khả năng kháng axit, khả năng chống đóng băng-tan băng và co ngót.

Trong bài viết này, chúng tôi sẽ trình bày một số vấn đề điển hình về RA và RAC, quy trình tái chế và sản xuất RA, tính chất vật lý/cơ học của RAC, các biện pháp cải thiện tính chất cơ học của RAC và các ứng dụng kết cấu/phi kết cấu sử dụng RA/RAC. Cuối cùng, những khoảng trống, nghiên cứu trong tương lai và quan điểm ứng dụng cho RA và RAC cũng được trình bày.

2. CÁC VẤN ĐỀ LIÊN QUAN ĐẾN CỐT LIỆU TÁI CHẾ (RA) VÀ BÊ TÔNG CỐT LIỆU TÁI CHẾ (RAC)

2.1. Lịch sử của RAC

Việc sử dụng CDW làm cốt liệu để sản xuất RAC lần đầu tiên được giới thiệu và áp dụng trong và sau Thế chiến thứ hai do một lượng lớn gạch vụn và mảnh vụn được tạo ra sau các vụ bắn phá vào các thành phố, đặc biệt là ở Vương quốc Anh và Đức [9]. Vào thời điểm đó, người ta thấy rằng RAC có khả năng hấp thụ nước cao hơn, cường độ nén thấp hơn, khả năng chống đóng băng/tan băng tương đương và ít co ngót hơn NAC [10]. Từ năm 1945 đến năm 1985, nghiên cứu toàn diện tập trung vào các quy trình tái chế (ví dụ: phân tách và sản xuất), tính

CDW có thể được tái chế và tái sử dụng làm vỉa hè sân vườn, rọ đá hoặc lớp xây dựng đường phố mà không bị giới hạn. Tuy nhiên, mức tiêu thụ còn hạn chế so với lượng CDW được sản xuất. Trong khoảng thời gian khoảng 70 năm, một số nhà nghiên cứu đã chứng minh rằng việc sử dụng RA từ CDW để thay thế NA trong các ứng dụng bê tông mới, tức là RAC, có thể mang lại lợi ích cho cả môi trường và nền kinh tế. Theo ước tính, sử dụng RA thay thế NA trong thi công bê tông có thể tiết kiệm 10-20% chi phí vật liệu [5]. Ngoài ra, đánh giá tác động môi trường trong vòng đời của RAC ở Hồng Kông cho thấy tái chế cốt liệu thô từ CDW có thể giảm 65% lượng khí thải nhà kính và tiết kiệm 58% mức tiêu thụ năng lượng không tái tạo so với sản xuất NAC. Tuy nhiên, các đặc tính cơ học của RAC (ví dụ: cường độ chịu nén, kéo và uốn) thường kém hơn so với các đặc tính cơ học của NAC tương ứng, điều này hạn chế việc áp dụng RAC cho kết cấu bê tông trong thực tế.

Có nhiều tài liệu và báo cáo khoa học quan trọng đánh giá RA và RA. Cụ thể, các đánh giá được tóm tắt trong Bảng 2. Những đánh giá này liên quan đến nhiều vấn đề như hiệu suất khả thi của RAC, các biện pháp cải thiện các chỉ tiêu vật lý/cơ học của RAC, độ bền kết cấu/ứng dụng RAC và đánh giá các phương pháp nâng cao.

chất RA (ví dụ: mật độ, hình dạng, khả năng hấp thụ nước) và nhiều hơn nữa về các tính chất cơ học (ví dụ: tính cường độ chịu nén, kéo và uốn) cũng như hiệu suất độ bền (ví dụ: tính thấm, khả năng chống băng giá hoặc cacbonat hóa) của RAC [11]. Cho đến thế kỷ 21, thiết kế hỗn hợp RAC, sử dụng RAC làm bê tông dự ứng lực và các kết cấu quy mô lớn (ví dụ: dầm RAC dài 15 mét dưới ứng suất trước khoảng 1300kN từ Dolara và cộng sự sau đó đã được xem xét lại. Gần đây, trọng tâm nghiên cứu đã được thay đổi để nâng cao chất lượng RA. Do nhận thức ngày càng cao về bảo vệ môi trường và nhu cầu phát triển bền vững nên ngày càng có nhiều nghiên cứu về RA và RAC. Đặc biệt trong những năm gần đây, số lượng ấn phẩm về RAC tăng theo cấp số nhân như minh họa trong Hình 1. Những nghiên cứu sâu rộng này có kiến thức nâng cao về RA và RAC, ví dụ: các tính chất cơ, lý/hóa của RA và RAC, các phương pháp nâng cao và mô hình độ bền để dự đoán các đặc tính RAC. Ngoài ra, số lượng ấn phẩm ngày càng tăng trong lĩnh vực RA và RAC. Một số tiêu chuẩn hoặc hướng dẫn quốc gia đã được phát triển cho RAC: ví dụ DIN 4226-100 (2002, Đức), JIS A 5021/5022/5023

(Nhật Bản), BS 8500:2 (2002, Vương quốc Anh) (BSI.BS 8500-2 2002, Vương quốc Anh).

Việt Nam là một trong những nước phê chuẩn Thỏa thuận Paris 2015 về chống biến đổi khí hậu. Chính phủ cũng đang đầu tư nhiều nguồn lực vào việc nghiên cứu các dự án liên quan đến biến đổi khí hậu. Điều này bao gồm việc sử dụng RA trong xây dựng. Đã có nhiều nghiên cứu về việc sử dụng vật liệu tái chế ở Việt Nam được báo cáo trong các ấn phẩm khoa học và hội nghị khoa học. Việt Nam cũng có tiêu chuẩn về cốt liệu lớn tái chế TCVN 11969:2018.



Hình 1. Thống kê số lượng bài viết về chủ đề “Bê tông tái chế” [12]

2.2. Các tính chất vật lý/cơ học điển hình và độ bền của RAC

2.2.1. Tính chất vật lý của RAC

+ **Tỷ trọng:** Theo thống kê nghiên cứu, nhìn chung bê tông sử dụng RA thường có tỷ trọng thấp hơn bê tông sử dụng NA (thường ở mức 5 - 6%), tùy theo mức độ thay thế và loại RA [14]. Nguyên nhân là do RA thường có lớp vữa có độ xốp cao.

+ **Độ sụt:** Độ sụt của bê tông là một trong những tính chất quan trọng của bê tông hoặc vữa mới trộn, quyết định mức độ dễ dàng trộn, đổ, cố kết và hoàn thiện bê tông ở điều kiện đồng nhất. Nghiên cứu của Verian et al. [15] đã chỉ ra rằng cần 5% đến 15% nước để trộn RAC để có độ sụt tương tự như NAC.

2.2.2. Tính chất cơ học và độ bền của RAC

Tính chất cơ học là một trong những đặc tính quan trọng của RAC. Bao gồm cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi và cường độ chịu kéo.

+ **Cường độ nén:** Cường độ nén của RAC nhìn chung nhỏ hơn NAC, tùy thuộc vào tỷ lệ thay thế NA bằng RA. Hình 2a thể hiện đường nổi các giá trị trung bình của cường độ chịu nén với các tỷ lệ thay thế khác nhau và các số trên các cột thể hiện số lượng thí nghiệm liên quan được xem xét.

+ **Mô đun đàn hồi khi nén:** Khi tỷ lệ thay thế cốt liệu bê tông tái chế (RCA) tăng thì mô đun đàn hồi của RAC giảm đáng kể. Mức giảm trung bình của mô đun đàn hồi là 4%, 15% và 23% khi tỷ lệ thay thế lần lượt là 25%, 50% và 100%. Mối quan hệ giữa mô đun đàn hồi của RAC với các tỷ lệ thay thế khác nhau của cốt liệu bê tông tái chế đối với RAC được trình bày trên Hình 2b.

+ **Cường độ chịu uốn và cường độ kéo đứt:** Tương tự như cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi, cường độ chịu uốn tương đối và cường độ kéo đứt cho thấy phản ứng giảm dần khi tỷ lệ thay thế tăng. Độ bền uốn giảm tối đa khoảng 11% tương ứng với tỷ lệ thay thế 100% RCA. Độ bền kéo giảm tới 16%. Có thể tìm thấy một ngoại lệ trong RAC với tỷ lệ thay thế 20% cho độ bền kéo. Độ bền kéo tương đối của nó (93% độ bền kéo của NAC) thấp hơn 2% so với RAC với tỷ lệ thay thế 25% và gần bằng RAC với tỷ lệ thay thế 50% (93% độ bền kéo của NAC) Hình 2c và 2d.

Tóm lại, cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi, cường độ chịu uốn và cường độ kéo của RAC thường có xu hướng giảm khi tỷ lệ thay thế RA tăng. Nếu sử dụng 100% RCA, cường độ chịu nén trung bình, mô đun đàn hồi, cường độ chịu uốn và độ bền kéo trung bình của RAC sẽ giảm lần lượt khoảng 40%, 40%, 20% và 40% so với NAC.

+ **Độ sâu cacbonat hóa:** Do RAC có mật độ thấp hơn NAC, nghĩa là độ xốp lớn hơn nên nhìn chung độ sâu cacbonat hóa của RAC cao hơn NAC tương ứng [15].

2.3. Cải thiện tính chất cơ học của RAC

Có nhiều phương pháp khác nhau để giảm độ xốp và lấp vữa cũ (trong trường hợp cốt liệu bê tông và gạch cũ) của RA và cải thiện các tính chất cơ học ngắn hạn/dài hạn của RAC (nén, uốn, kéo, từ biến và co ngót). Các phương pháp này có thể được phân thành ba nhóm bao gồm: (1) giảm độ xốp RA, (2) giảm lớp vữa cũ trên RA và (3) cải thiện tính chất mà không cần sửa đổi RA.

2.3.1. Giảm độ xốp của RA

Để giảm độ xốp của RA, chúng ta có thể áp dụng một số phương pháp và đã có nhiều bài viết phân tích, đánh giá hiệu quả/khả năng ứng dụng của từng phương pháp. Trong phạm vi báo cáo này, tác giả chỉ giới thiệu các phương pháp và một số kết quả đã công bố mà chưa phân tích cơ chế, cách thực hiện của từng phương pháp.

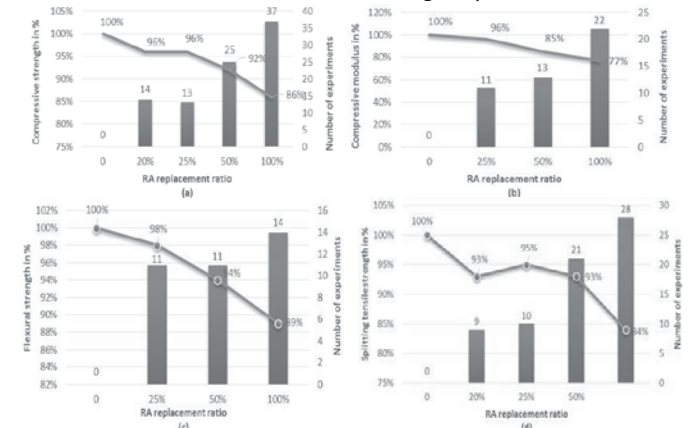
❖ Tăng tốc quá trình carbonat hóa

+ **Lắng đọng sinh học:** Theo kết quả được công bố bởi (Wang và cộng sự, 2016), đã chứng minh rằng quá trình lắng đọng sinh học (B. Sphaericus) có thể cải thiện đáng kể về mô đun đàn hồi và cường độ chịu nén của RAC. Cụ thể, mô đun đàn hồi tăng khoảng 27% và 40% trong khi cường độ chịu nén tăng lần lượt khoảng 16% và 10% đối với RAC sử dụng RCA và cốt liệu hỗn hợp tái chế.

+ Bổ sung pozzolan

Theo kết quả công bố của các tác giả: Gonzalez và Martinez, 2008; Kou và Poon, 2013; và Shi và cộng sự, 2018 [17], có thể thấy sau khi cốt liệu được xử lý bằng Pozzolans như Silica fume, tro bay,... thì đặc tính cơ học của RAC đều tăng lên đáng kể (khoảng 8% đến hơn 55%), tùy thuộc vào loại Pozzolan và phương pháp thực hiện). Tuy nhiên, cường độ chịu nén của RAC vẫn thấp hơn NAC.

Ngoài ra, còn một số phương pháp khác để giảm độ xốp của RA nhằm cải thiện tính chất cơ học của RAC đã được nghiên cứu và công bố là có hiệu quả như bổ sung các hạt nano, Natri Silicate (Na_2SiO_3), Nhũ tương Polymer.



Hình 2. Biểu đồ thể hiện sự thay đổi cường độ/mô đun với các tỷ lệ cốt liệu bê tông tái chế khác nhau và cỡ mẫu ở mỗi tỷ lệ thay thế [12].

Bảng 3. Những thay đổi về các đặc tính cơ học của RAC do xử lý cacbonat hóa trên RA [16].

Tài liệu tham khảo	Tính chất	Điều kiện carbonat hóa Áp suất CO ₂	Khoảng thời gian	Giá trị tăng lên do carbonat hóa
(Xuan và cộng sự., 2016)	Độ bền chịu uốn	5.0	1 ngày	Tăng đến 28.7%
(Kou và cộng sự.,2014)	Độ bền chịu kéo đứt	0.1	3 ngày	Tăng đến 6.6%
(Xuan và cộng sự.,2017)	Co ngót khô sau 112 ngày	0.1	1 ngày	-23.0%
		5.0	1 ngày	-25.2%
(Tam và cộng sự.,2016)	Độ bền kéo đứt trung bình	0.75 đến 1.5	30 đến 90 phút	4.7% đến 19.8% Tỷ lệ thay thế RA: 30%)
	Độ bền kéo đứt trung bình	0.75 đến1.5	30 đến 90 phút	0.0% đến -7.7% (Tỷ lệ thay thế RA: 100%) -11.1% đến 2.3% (Tỷ lệ thay thế RA: 30%) 16.3% đến 50.8% (Tỷ lệ thay thế: 100%)

2.3.2. Giảm lớp vữa cũ

RCA là vật liệu tổng hợp được nghiên cứu và sử dụng nhiều nhất trong số các RA. Lớp vữa cũ trên cốt liệu bê tông tái chế thường là điểm yếu của cốt liệu bê tông tái chế vì nó có độ xốp cao hơn và nhiều vết nứt hơn NA. Trong báo cáo này, chúng tôi chỉ tổng hợp các phương pháp và một số kết quả đạt được bằng các phương pháp tương ứng nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động của RAC.

+ Xử lý bằng axit

Một số loại axit có thể được sử dụng để loại bỏ vữa cũ bám vào cốt liệu như HCl, H₂SO₄, HNO₃, CH₃COOH hoặc H₃PO₄. Có nhiều ấn phẩm khoa học về việc sử dụng các axit này để xử lý cốt liệu. Kết quả là cốt liệu RAC sau khi được xử lý bằng các axit trên có cường độ chịu nén tăng lên đáng kể khoảng 4,4% đến 18,6%. Đặc biệt đối với các mẫu được xử lý bằng axit axetic 3%, cường độ nén đạt khoảng 52MPa, tương ứng cao hơn 25% so với mẫu RAC chưa qua xử lý (khoảng 42MPa) và chỉ thấp hơn một chút so với mẫu NAC (khoảng 55MPa) [18].

+ Xử lý nhiệt

Nguyên lý của quá trình xử lý nhiệt là làm mất nước của đá xi măng cũ, dẫn đến tách lớp vữa cũ ra khỏi các hạt cốt liệu. Sau khi RA được xử lý nhiệt, có sự giảm đáng kể, với tốc độ tùy thuộc vào nhiệt độ xử lý. Nghiên cứu của Akbarnezhad [19] cho thấy so với RAC sử dụng cốt liệu chưa qua xử lý, cường độ nén của RAC với 100% RCA được xử lý bằng vi sóng cao hơn khoảng 30% so với RAC với cốt liệu chưa được xử lý.

2.3.3. Cải thiện các tính chất mà không cần thay đổi RA

Bên cạnh các phương pháp xử lý nói trên, các phương pháp xử lý khác có thể nâng cao hiệu suất của RAC mà không cần sửa đổi RA, chẳng hạn như cải thiện phương pháp trộn và bổ sung chất gia cố bằng sợi.

Bảng 4. Cường độ chịu nén của RAC theo hai phương pháp trộn NMA và TSMA [20]

Tỷ lệ thay thế RA (%)	Cường độ chịu nén (Mpa)		Cải thiện nhờ TSMA (%)
	NMA	TSMA	
0	55.7	56.0	0.51
10	59.0	64.5	9.41
15	56.3	61.3	8.88
20	53.7	65.1	21.19
25	52.3	63.1	20.64
30	58.1	66.2	13.94

+ Phương pháp trộn

Ba phương pháp trộn đã được báo cáo là có ảnh hưởng tích cực đến hiệu suất của RAC, đó là phương pháp trộn hai giai đoạn

(TSMA), phương pháp trộn vữa (MMA) và phương pháp trộn trong cát (SEMA). Hiệu quả của các phương pháp trộn này được trình bày trong Bảng 4.

+ Bổ sung cốt sợi

Bổ sung cốt sợi là một trong những phương pháp nhằm tăng cường độ chịu kéo, uốn của kết cấu nói chung. Nó đang được nghiên cứu rất nhiều và đang dần trở nên phổ biến. Đối với các cấu trúc RAC, sợi được thêm vào để khắc phục chế độ hư hỏng giòn của RAC và tăng độ bền kéo cũng như khả năng chống uốn.

3. CÁC ỨNG DỤNG CỦA RA VÀ RAC TRONG THỰC TIỄN

Nhìn chung RAC thường có các tính chất cơ học như cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi, cường độ chịu kéo thường nhỏ hơn đáng kể so với NAC. Tuy nhiên, với các đặc tính cơ học đã công bố, nó hoàn toàn đáp ứng được giá trị cường độ cần thiết để khai thác nhiều loại công trình. Đặc biệt, nếu RA được xử lý bằng các phương pháp nêu trên thì các tính chất vật lý, hóa học và cơ học sẽ được cải thiện đáng kể. Do đó, RA và RAC nên được áp dụng trong nhiều trường hợp như các ứng dụng phi kết cấu, kết cấu và thậm chí cường độ cao.

3.1. Các ứng dụng phi kết cấu

Ứng dụng chính của RA hoặc RAC là ứng dụng phi kết cấu do khả năng chịu tải thấp và tính không ổn định trong cấu trúc chính của RA. Ví dụ, ở Đức, RA thường được sử dụng làm vật liệu san lấp, cải tạo nền đường [21], vỉa hè hoặc rọ đá [22]. Ở Úc, RA và RAC cũng được sử dụng rộng rãi cho lối đi bộ và bãi đỗ xe [23]. Ở Việt Nam, RA thường được sử dụng làm vật liệu san lấp, nền móng hoặc bê tông bề mặt trong các công trình đường không yêu cầu chất lượng cao như đường giao thông nông thôn [24].

3.2. Sử dụng RAC cho các ứng dụng kết cấu

Có nhiều nghiên cứu về tính chất cơ học của RAC trong đó RA có thể được sử dụng tới 100% để thay thế NA, cường độ nén của RAC từ 25-50MPa (Corinaldesi và các cộng sự., 2010), (Berredjem và cộng sự, 2020) và (Nguyễn Thanh Sang và cộng sự, 2020) [24]. Qua đó cho thấy RA hoàn toàn phù hợp cho các ứng dụng kết cấu.

Nhiều quốc gia khuyến khích sử dụng RAC cho các ứng dụng kết cấu. Thụy Sĩ đi đầu trong việc ứng dụng kết cấu RAC [25]. Một ví dụ là phòng thí nghiệm khoa học điện tử của ETH Zurich. Kết cấu sáu tầng này, được hoàn thành vào năm 2007 với tổng diện tích sàn là 11.655 m2, chủ yếu được xây dựng bằng bê tông tái chế (lên tới 90%) [26]. Một ví dụ khác là việc mở rộng kết cấu của một tòa nhà trường học ở Hirzenbach, Zurich, với bê tông hoàn toàn là bê tông tái chế [27]. Năm 2002, một công trình công cộng thí điểm, trường “Im Birch”, được xây dựng ở Zurich, sử dụng 80% bê tông tái chế. Sự thành công của dự án thí điểm này dẫn đến nghĩa vụ sử dụng ít nhất 25% RCA cho tất cả các tòa nhà công cộng, theo quy định của chính phủ Thụy Sĩ (Ủy ban châu

Âu 2020) [28]. Đức có tỷ lệ tái chế cao trên CDW, ví dụ: khoảng 84% (72,2 triệu tấn) trong tổng số 86,0 triệu tấn đường sá và đá vụn xây dựng; và chất thải xây dựng được sản xuất thành vật liệu tái chế phục vụ xây dựng vào năm 2016. Tuy nhiên, trong số 72,2 triệu tấn vật liệu tái chế này, chỉ có 21,0% được sử dụng làm vật liệu xây dựng, tức là cốt liệu trong sản xuất nhựa đường và bê tông [29]. Theo Sturmer và cộng sự, năm 2017, hàng chục tòa nhà và công trình đã sử dụng RAC ở Đức xây dựng toàn bộ hoặc một phần. Trong số tất cả các ứng dụng, Tòa nhà Nghiên cứu và Phòng thí nghiệm Khoa học Đời sống tại Đại học Berlin Humboldt được coi là dự án thí điểm nổi tiếng nhất ở Đức do lượng RAC lớn 3800m³ [30].

Ngoài Thụy Sĩ và Đức, còn có một số ứng dụng kết cấu RAC khác trên thế giới như ở Nhật Bản, Pháp, Trung Quốc, Mỹ. Ở Việt Nam việc ứng dụng RAC cho kết cấu chịu lực chính đang còn khá hạn chế.

3.3. Sử dụng RAC cho các kết cấu dự ứng lực

Đã có các nghiên cứu về bê tông cường độ cao sử dụng RA, cường độ chịu nén có thể đạt trên 55MPa [31,32] tùy theo tỷ lệ thay thế RA. Với những thể mạnh như vậy chúng ta có thể sử dụng RA cho kết cấu bê tông dự ứng lực. Vấn đề sử dụng RA cho kết cấu dự ứng lực cũng đã được Michael R. Brandes và Kurama nghiên cứu [33].

- Trong một nghiên cứu khác nhằm xác định độ tin cậy của việc sử dụng RAC, dầm đơn dự ứng lực dài 10 mét đã được chuẩn bị và thử nghiệm. Kết quả chỉ ra rằng RAC với tỷ lệ thay thế thấp có thể được sử dụng trong các cấu kiện dự ứng lực mà không ảnh hưởng đến tính năng kết cấu của cấu kiện đó. Bê tông có hàm lượng RA cao hơn cũng có thể được sử dụng bằng cách tăng nhẹ lực dự ứng lực [34].

- Ứng xử lâu dài của bê tông cốt thép thông thường và bê tông cốt thép dự ứng lực sử dụng RA cho các kết cấu như dầm và cột cũng đã được thực hiện [35]. Ngoài ra, một số nghiên cứu khác về bê tông dự ứng lực sử dụng RA cũng đã được ghi nhận như Breccolotti và cộng sự. [34], Hoffmann và cộng sự. [36], ...v.v

3.4. Sử dụng CDW cho kết cấu mặt đường và đường ô tô

Việc sử dụng cốt liệu tái chế CDW để thay thế NA trong ngành xây dựng đường cho đến nay là ứng dụng phổ biến nhất. Tuy nhiên, trong các ứng dụng xây dựng mặt đường, RA có xu hướng được sử dụng chủ yếu ở dạng không liên kết, thường xuyên hơn trong các lớp nền/lớp nền phụ và ít thường xuyên hơn trong các lớp có liên kết.

+ Herrador và cộng sự đã xây dựng một đoạn đường thử nghiệm dài 80m được làm bằng cốt liệu CDW tái chế và được thiết kế cho lưu lượng giao thông trung bình hàng ngày từ 100-199 xe thương mại mỗi ngày. Các tác giả cũng chỉ ra rằng việc nén cốt liệu CDW nhân tạo tại hiện trường khó khăn hơn vì cần nhiều nước hơn. Thử nghiệm Máy đo độ lệch trọng lượng rơi (FWD) cho kết quả hài lòng về khả năng chịu tải của các lớp CDW. Hơn nữa, một phân tích chi phí đơn giản đã được thực hiện bằng cách so sánh chi phí sản xuất của cả cốt liệu CDW và NA trong đó chi phí của RA cao hơn NA [37].

+ Leek và cộng sự đã nghiên cứu hiệu suất của ba đoạn đường thử nghiệm được làm bằng CDW ở Tây Úc bằng cách so sánh chúng với các đoạn đường được làm bằng NA. Nghiên cứu này đã chứng minh rằng cốt liệu nền đường tái chế thu được từ vật liệu phá dỡ tái chế có thể mang lại chất lượng tốt và độ bền cao cho đường. Nó làm tăng tuổi thọ môi của nhựa đường do giảm biến dạng. Theo các tác giả, nguồn bê tông tái chế có thể có tác động đáng kể đến quá trình bù nước của vật liệu và độ cứng lớn có thể gây ra nứt khối [38].

+ Jiménez và cộng sự đã nghiên cứu hiệu suất của các lớp nền không dính của hai đoạn đường nông thôn trải nhựa thử nghiệm được xây dựng bằng vật liệu CDW đã chọn. Các yếu tố bên ngoài như khí hậu và giao thông cũng được xem xét trong nghiên cứu và khả năng chịu lực được nghiên cứu bằng thử nghiệm tải. Người ta thấy rằng lưu lượng phương tiện giao thông có thể cải thiện khả năng chịu

lực của các lớp không liên kết CDW sau một số năm, điều này có thể là do độ ẩm tăng lên hoặc hoạt động pozzolanic trong vữa xi măng kèm theo của cốt liệu. Hạn chế duy nhất liên quan đến việc sử dụng vật liệu CDW trên mặt đường được xác định là hàm lượng muối hòa tan. Tất cả các thử nghiệm về độ nhám thể hiện các tính chất kỹ thuật tốt và các tính chất này được duy trì trong nhiều năm vận hành. Theo kết luận chung của nghiên cứu, các tác giả hài lòng với việc sử dụng CDW cho đường nông thôn không trải nhựa [39].

+ Del Rey và cộng sự đã nghiên cứu việc sử dụng CDW không liên kết trong các lớp nền của đường nông thôn không trải nhựa và đánh giá hoạt động của các tổ hợp CDW hỗn hợp liên quan đến NA. Các thử nghiệm tải tĩnh đã được thực hiện để chuẩn bị các đường cong tải trọng và các phép đo FWD ghi lại biến dạng quan sát được trên bề mặt là kết quả của tải trọng động. Ngoài ra, mặt đường được đánh giá bằng cách đo độ võng trên bề mặt. Nó chỉ ra rằng các giá trị độ võng trung bình thu được trong các đoạn thử nghiệm được thi công bằng cốt liệu CDW cao hơn 63% và 46% so với các giá trị thu được trong đoạn được làm bằng NA. Theo các tác giả, điều này có nghĩa là việc sử dụng cốt liệu CDW ở lớp nền phụ sẽ cần lớp nền cứng hơn để đạt được khả năng chịu lực nằm trong phạm vi chấp nhận được. Mặc dù CDW có biến dạng cao hơn và giá trị mô đun đàn hồi kém hơn NA, nhưng cốt liệu CDW được sử dụng trong nghiên cứu này cho thấy hiệu quả chấp nhận được. Nhìn chung, kết quả của nghiên cứu cho thấy rằng CDW có thể được sử dụng trong các lớp kết cấu đường giao thông cấp thấp [40].

4. CÁC XU HƯỚNG TRONG TƯƠNG LAI VÀ KẾT LUẬN

4.1. Các xu hướng trong tương lai

Việc mở rộng phạm vi áp dụng RAC là bắt buộc đối với mỗi quốc gia vì tính thân thiện với môi trường, đặc biệt là trong các ứng dụng kết cấu. Tuy nhiên, ứng dụng RAC bị hạn chế do tính chất cơ học kém hơn (ví dụ: cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, cường độ chịu kéo) so với NAC. Người ta nhận thấy rằng một số phương pháp nâng cao RA có thể cải thiện đáng kể hiệu suất cơ học của RAC. Có nhiều phương pháp được đề cập ở phần trước. Tuy nhiên, một số lỗ hổng nghiên cứu trong các phương pháp này cản trở ứng dụng thực tế. Vì vậy, tiếp tục nghiên cứu RA và RAC là cần thiết.

Với những tính chất lý, hóa, cơ như nêu trên, RA và RAC có thể đáp ứng yêu cầu thi công, khai thác cho hầu hết các loại công trình xây dựng hiện nay. Cùng với nhiều nghiên cứu, chính sách bảo vệ môi trường của các chính phủ và ứng dụng thực tế được đề cập trong bài viết này, có thể thấy việc sử dụng RA và RAC trong xây dựng sẽ có nhiều cơ hội phát triển hơn nữa trong tương lai.

4.2. Kết luận

Vấn đề tích lũy CDW tăng lên hàng năm gây ra mối lo ngại lớn, điều này càng làm tăng thêm nhu cầu tái sử dụng nó làm cốt liệu tái chế cho ngành xây dựng, vì nó có tiềm năng lớn để tái sử dụng phần lớn CDW. Bài viết này cung cấp cái nhìn tổng quan về các tính chất của RA, RAC và cập nhật tình hình nghiên cứu, ứng dụng RA/RAC trên thế giới. Dữ liệu thu được trong bài viết này chỉ ra rằng RA từ CDW có thể được sử dụng thành công để sản xuất vật liệu xây dựng có chất tương đương với vật liệu được sản xuất bằng tự nhiên, một cách tiếp cận thân thiện với môi trường cho các chiến lược quản lý chất thải phá dỡ công trình xây dựng trong tương lai. Các vấn đề chính đã được xác định cho các ứng dụng và nghiên cứu trong tương lai hướng tới việc tái chế CDW trong vật liệu xây dựng là:

+ Xây dựng các phương pháp kiểm tra, tiêu chuẩn hóa để hướng dẫn các quy định cụ thể về việc sử dụng RA và RAC từ CDW trong các vật liệu mới;

+ Nghiên cứu khả năng ứng dụng của RA và RAC trong từng

trường hợp cụ thể như đường giao thông, sân bay, bến cảng, v.v.

+ Nghiên cứu các rủi ro môi trường liên quan đến việc sử dụng RA, RAC từ CDW và các ứng dụng tiềm năng của nó trong các lĩnh vực có giá trị gia tăng cao như gốm sứ và chất hấp phụ;

+ Xem xét các khía cạnh liên quan đến chiến lược chính trị để tăng cường sự tin tưởng và chấp nhận các nghiên cứu có nguồn gốc từ CDW trong giới chuyên môn và xã hội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Walberg, D., Solid and timber construction in residential buildings, Massiv-und Holzbau bei Wohngebäuden. Mauerwerk, 20 (1) (2016) 16-31. <https://doi.org/10.1002/dama.201600685>
- [2]. Warburton, R., Global Warming Has Concrete Problem When It Comes to CO₂ (2020). Available from <https://www.ecori.org/climate-change/2019/10/4/globalwarming-has-a-co2concrete-problem>
- [3]. Verein Deutscher Zementwerk., Global cement production from 1990 to 2030 (in million metric tons), (2019). Available from <https://www.statista.com/statistics/373845/global-cement-production-forecast/>
- [4]. The Freedonia Group, Global Demand for Construction Aggregates to Exceed 48 Billion Metric Tons in 2015, (2019). Available from <https://www.concreteconstruction.net/business/global-demand-for-construction-aggregates-to-exceed-48-billionmetric-tons-in-2015o>
- [5]. C. Zheng L., Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in China, Constr. Build. Mater., 136 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.04.061>
- [6]. Barhmaiah, B, Leela Priyanka, M, Padmakar, M, Strength analysis and validation of recycled aggregate concrete, Materials Today, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.730>
- [7]. Pacheco-Tergal, Construction and demolition waste recycling: management, processing and environmental assessment (2020).
- [8]. Bo Wang, Libo Yan, Quini Fu, A comprehensive review on recycled aggregate and recycled aggregate concrete, 3 (2021).
- [9]. Nixon, P.J., Recycled concrete as an aggregate for concrete-a review, Mat. Constr., 11 (5) (1978) 371-378. <https://doi.org/10.1007/BF02473878>
- [10], [11]. Hansen, T.C., Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state of the art report developments 1945-1985, Mat. Constr., 19 (3) (1986) 201-246. <https://doi.org/10.1007/BF02472036>
- [12]. Bo Wang, Libo Yan, Quini Fu, A comprehensive review on recycled aggregate and recycled aggregate concrete, 4 (2021).
- [13]. Pellegrino, C, Faleschini, F (Eds.), Sustainability Improvements in the Concrete Industry, Springer International Publishing, Cham, (2016).
- [14]. Cachim, P.B., Mechanical properties of brick aggregate concrete, Construction and Building Materials, 23 (3) (2009) 1292-1297. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.07.023>
- [15]. Verian, K.P., Ashraf, W, Cao, Y., Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production, Resources Conservation and Recycling, 133 (2018) 30-49. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.005>
- [16]. Tam, V.W.Y., Butera, A, Le, K.N., Carbon-conditioned recycled aggregate in concrete production, Journal of Cleaner Production, 133 (2016) 672-680. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.007>
- [17]. Shi, C, Wu, Z, Cao, Z, Ling, T.C, Zheng, J., Performance of mortar prepared with recycled concrete aggregate enhanced by CO₂ and pozzolan slurry, Cement and Concrete Composites, 86 (2018) 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.10.013>
- [18]. Kazmi, S.M.S, Munir, M.J, Wu, Y-F, Patnaikuni, I, Zhou, Y, Xing, F., Effect of different aggregate treatment techniques on the freeze-thaw and sulfate resistance of recycled aggregate concrete, Cold Regions Science and Technology, 178 (2020) 103126. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103126>
- [19]. Akbarnezhad, A, Ong, K.G, Zhang, M.H, Tam, C.T, Foo, T.W.J., Microwave-assisted beneficiation of recycled concrete aggregates, Construction and Building Materials, 25 (8) (2011) 3469-3479. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.038>
- [20]. Tam, V.W.Y, Gao, X.F, Tam, C.M., Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach, Cement and Concrete Research, 35 (6) (2005) 1195-1203. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.025>
- [21]. Botel, R.C.L. RCL-Recycling Ziegel 0/45 Ohne Güte in German (Recycling Brick 0/45 Without grade, translation to English by the authors) (2019). https://www.boetel-bis.de/epages/es652351.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/es652351/
- [22]. Broere, Peter, Use of recycled aggregate - the best road base material on earth (2017).
- [23]. Kotrayothar D., Recycled aggregate concrete for structural applications, [PhD] Sydney, Australia: Western Sydney University (2017).
- [24]. Nguyen Thanh Sang, Pham Dinh Huy Hoang, Vu Ba Duc, Effect of recycled aggregate content from burnt clay brick and waste concrete on mechanical properties of high strength concrete, (2020).
- [25]. Brugger, Veronika. Kreislauf aus Beton (Circular use of Concrete, translation to English by the authors) (2020). <https://www.dabonline.de/2015/04/29/kreislauf-aus-beton-recycling-greenbuilding-hochbau-wiederverwertung-recyclingbeton-r-beton-energieeffizienz-nachhaltigkeit/>
- [26]. Staller, Heimo, Tisch, Angelika. New technical solutions for energy-efficient buildings (2020). https://www.motiva.f/fles/4779/SOTA_Building_Materials.pdf
- [27]. ETH HIT e-science Lab Zurich, Switzerland, (2020) <https://www.baumschlager-eberle.com/en/work/projects/projekte-details/eth-hit-e-science-lab/>
- [28]. Schwebendes Gebäude aus Recyclingbeton (Floating Building from Recycled Concrete, translation to English by the authors). (2020), <https://www.beton.org/inspiration/architektur/objekt-details/erweiterung-der-schulanlage-hirzenbach-in-zuerichch/>
- [29]. Bundesverband Baustoffe-Steine und Erden. Mineralische Bauabfälle "Monitoring (Mineral Construction Waste Monitoring 2016, translation to English by the authors), (2016); <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-11.pdf>
- [30]. Bodamer Faber Architekten BDA PartGmbH. Forschungs- und Laborgebäude "für Lebenswissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin (Research and Laboratory Building for Life Sciences of the Humboldt University of Berlin, translation to English by the authors), (2019). <https://www.heinze.de/architekturobjekt/forschungs-und-laborgebäude-fuer-lebenswissenschaften-der-humboldt-universitaet-zu-berlin/12671706/>
- [31]. L. Evangelista, J. de Brito, Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates, Cement and concrete composites, 29 (2007) 397-401. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>
- [32]. D.Y. Gao et al., Experimental Study of Utilizing Recycled Fine Aggregate for the Preparation of High Ductility Cementitious Composites, Materials, 13 (2020) 679. <https://doi.org/10.3390/ma13030679>
- [33]. M.C. Limbachiya, T. Leelawat, R.K. Dhir, Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete, Materials and Structures, 33 (2000) 574-580. <https://doi.org/10.1007/bf02480538>
- [34]. Marco Breccolotti, A. Luigi Materazzi, Use of recycled aggregate concrete in prestressed structural elements (2017).
- [35]. Ajdukiewicz, A. & Kliszczewicz, Long-term behaviour of reinforced-concrete beams and columns made of recycled aggregate concrete, Prague, fib, (2011) 479-482.
- [36]. Hoffmann, C., Schubert, S., Leemann, A. & Motavalli, Recycled concrete and mixed rubble as aggregates: Influence of variations in composition on the concrete properties and their use as structural material, Construction and Building Materials, 35 (2012) 701-709.
- [37]. Herrador, R.; Pérez, P.; Garach, L.; Ordóñez, J., Use of Recycled Construction and Demolition Waste Aggregate for Road Course Surfacing, J. Transp. Eng., 138 (2011) 182-190.
- [38]. Leek, C.; Siripun, K.; Nikraz, H.; Jitsangiam, P., An Investigation into the Performance of Recycled Concrete Aggregate as a Base Course Material in Road Pavements. In Proceedings of the International Conference on Advances in Geotechnical Engineering (ICAGE 2011), Perth, Australia, 7-9 (2011) 343-349.
- [39]. Jiménez, J.R.J.R.; Ayuso, J.; Agrela, F.; López, M.; Galvín, A.P.A.P., Utilisation of unbound recycled aggregates from selected CDW in unpaved rural roads, Resour. Conserv. Recycl, 58 (2012) 88-97.
- [40]. Del Rey, I.; Ayuso, J.; Galvín, A.; Jiménez, J.; Barbudo, A. Feasibility of Using Unbound Mixed Recycled Aggregates from CDW over Expansive Clay Subgrade in Unpaved Rural Roads, 9 (2016) 931.