

Đánh giá cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế và tro bay

Evaluating the strength of concrete when using recycled aggregates and fly ash

> LÊ ĐỨC HIỂN¹; VÕ VĂN THẢO^{1,*}; BÙI CHÍ NAM²; NGUYỄN DUY TÂN²

¹ Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Tôn Đức Thắng,
Email: leduchien@tdtu.edu.vn; vovanthao@tdtu.edu.vn

² HVCH, Trường Đại học Tôn Đức Thắng

TÓM TẮT:

Gần đây, nghiên cứu và chế tạo bê tông cốt liệu tái chế (RCA) đã đạt được nhiều kết quả khả thi về kỹ thuật và góp phần bảo vệ môi trường khi mà vấn đề cạn kiệt tài nguyên ngày càng cấp bách. Trong nghiên cứu này, cốt liệu tái chế (RA) là bê tông cũ được sử dụng để thay thế cho cốt liệu đá tự nhiên (NA) với các tỉ lệ khác nhau. Hỗn hợp bê tông cốt liệu tái chế được thiết kế thành phần theo phương pháp ACI truyền thống và phương pháp DMDA. Các hỗn hợp bê tông thiết kế theo hai phương pháp này được so sánh về tính linh động của bê tông ướt, cường độ chịu nén của mẫu lập phương ở 28 ngày tuổi. Ngoài ra, các hỗn hợp bê tông tái chế có sử dụng tro bay thiết kế theo phương pháp DMDA còn được đánh giá về sự phát triển cường độ theo thời gian, cường độ chịu nén các mẫu khoan trên sàn với chiều dày thay đổi và mối quan hệ giữa cường độ chịu nén với vận tốc xung siêu âm. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng: cốt liệu tái chế làm giảm tính linh động của bê tông nhưng tro bay thì có tác động ngược lại, cường độ chịu nén của bê tông suy giảm theo tỉ lệ thay thế RA cho NA và bê tông có sử dụng tro bay phát triển cường độ chậm hơn bê tông thông thường. Mặt khác, khi đánh giá cường độ chịu nén của bê tông cốt liệu tái chế thông qua mẫu khoan trên sàn và phương pháp vận tốc xung siêu âm cũng có những ứng xử khác biệt so với bê tông chỉ có cốt liệu tự nhiên.

Từ khóa: Cốt liệu tái chế (RA); bê tông cốt liệu tái chế (RCA); tro bay (FA); vận tốc xung siêu âm (UPV).

ABSTRACT:

Recently, the research and production of recycled aggregate concrete (RCA) has achieved many technically feasible results and contributes to environmental protection when resource depletion becomes more and more pressing issues. In this study, recycled aggregate (RA) is old concrete used to replace natural stone aggregate (NA) with different ratios. The RCA mixes are designed using the ACI method and the DMDA method. All concrete mixes were compared about fresh properties by value slump, compressive strength of the cube specimens at 28 days. Furthermore, RCA mixes using FA designed by the DMDA method were also evaluated for strength development over time, compressive strength of drilled specimens in the floor with variable thickness and relationship between compressive strength and UPV. Studying results show that: RA reduces the workabilities of concrete but FA has the opposite effect. Compressive strength of concrete decreases with the ratio of RA to NA. Concrete mixes using FA develop slowly in strength. On the other hand, when evaluating the compressive strength of RCA through the drilled specimens and the upv method show different behaviors compare to types of concrete with only NA.

Keywords: Recycled aggregates (RA); recycled concrete aggregates (RCA); fly ash (FA); ultrasonic pulse velocity (UPV).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phát triển bền vững đang là thách thức toàn cầu và đó cũng là tiêu chuẩn định hướng của ngành Xây dựng [1]. Thực tế đòi hỏi phải có nguồn vật liệu mới và chất lượng cao [2]. Tuy nhiên, nguồn cốt tự nhiên và năng lượng hóa thạch ngày càng khan hiếm, đi kèm với đó là yêu cầu bảo vệ môi trường ngày càng cấp thiết [3]. Vì vậy, một trong những nhiệm vụ hiện nay là sử dụng vật liệu thô chất lượng thấp từ các nguồn phế thải công nghiệp để sản xuất vật liệu xây dựng [4]. Một trong những biện pháp để hiện thực mục tiêu trên là tận dụng cốt liệu từ bê tông cũ từ các bộ phận của

công trình sau khi phá bỏ và phế thải công nghiệp như tro bay để sản xuất bê tông có ý nghĩa lớn trong bảo tồn tài nguyên thiên nhiên và góp phần tích cực để bảo vệ môi trường.

Bê tông sử dụng cốt liệu tái chế và tro bay có một số tính chất khác biệt so với bê tông chỉ sử dụng cốt liệu tự nhiên (NCA). Sự khác biệt này tùy thuộc vào tỉ lệ thay thế RA cho NA và hàm lượng FA trong thành phần hỗn hợp. Về tỉ trọng, bê tông RCA có tỉ trọng thấp hơn NCA từ 5-15% [5, 6] và cường độ chịu nén của RCA phụ thuộc vào tỉ lệ thay thế RA cho NA, thành phần kích cỡ hạt của RA.

Khi sử dụng RA có kích cỡ hạt 9.50mm đến 19.00mm để thay thế hoàn toàn cho NA thì cường độ bị suy giảm khoảng 25% [7]. Ảnh hưởng của tro bay đối với các thuộc tính của bê tông rất đáng kể, khi tỉ lệ thay thế tro bay cho xi măng không quá 20% thì cường độ chịu nén và ép chèn có thể cao hơn bê tông thông thường nhưng khi tỉ lệ thay thế lớn hơn thì cường độ của bê tông giảm xuống [8, 9]. Mặt khác, bê tông sử dụng FA phát triển cường độ chậm hơn. Đối với bê tông không sử dụng tro bay, ở 90 ngày tuổi cường độ chịu nén chỉ tăng thêm 7.95% so với 28 ngày tuổi, trong khi đối với bê tông có sử dụng FA thì tăng trung bình 22.66% [9-11] và FA làm cho tính linh động tăng lên thông qua thí nghiệm độ sụt [11].

Mặt khác, trong thực tế xây dựng, người ta cần phải đánh giá cường độ bê tông trong phòng thí nghiệm trước khi sử dụng ở công trình. Tuy nhiên, do một số yếu tố về đầm nén, bảo dưỡng... ở công trường khác với ở phòng thí nghiệm dẫn đến cường độ của bê tông trên kết cấu khác với trong phòng thí nghiệm. Vì vậy, cần sử dụng phương pháp thí nghiệm bán phá hủy hoặc không phá hủy để ước lượng cường độ kết cấu hiện hữu [12-14]. Trong số các phương pháp bán phá hủy thì phương pháp thí nghiệm cường độ khi khoan cắt từ kết cấu hiện hữu có tính tin cậy cao, cường độ ước lượng theo phương pháp này chịu ảnh hưởng của yếu tố: hướng khoan, tỉ lệ chiều cao với đường kính mẫu (L/D) và hiện diện của cốt thép. Ảnh hưởng của kích thước mẫu (L/D) được thể hiện theo kết quả nghiên cứu ở [15] và ASTM C42/C42M-20 [16], BS 1881-120 [17] để nghị hiệu chỉnh cường độ chịu nén ở mẫu khoan với các hệ số theo bảng 1.

Bảng 1. Hệ số hiệu chỉnh cường độ chịu nén mẫu khoan

L/D	ASTM-C42	BS 1881
1.75	0.98	0.97
1.50	0.96	0.92
1.25	0.93	0.87
1.00	0.87	0.80

Ảnh hưởng của tỉ lệ L/D đối với RCA được thể hiện trong các nghiên cứu của Mostafa Kazemi thực hiện thí nghiệm với tuổi bê tông ngày thứ 11 và 28 [18] cũng cho kết quả tương tự như [16, 17] ở bảng 1.

Ngoài phương pháp trên có thể sử dụng phương pháp không phá hủy. Một trong số đó là phương pháp siêu âm, dựa vào vận tốc của xung siêu âm có thể dự đoán cường độ, mô đun đàn hồi, vết nứt trong bê tông [19] và thiết lập mối quan hệ giữa cường độ chịu nén của vữa và bê tông theo tuổi [20], mối quan hệ giữa vận tốc xung siêu âm và cường độ của bê tông từ 15MPa đến 35MPa thể hiện ở [21]. Đối với bê tông có sử dụng cốt liệu tái chế, kết quả nghiên cứu ở [22] đã thể hiện mối quan hệ giữa vận tốc xung siêu âm với tỉ lệ thay thế cốt liệu tự nhiên bằng chất thải nhựa và [23] đã thể hiện mối quan hệ cường độ chịu nén của bê tông ở 28 ngày tuổi với vận tốc xung siêu âm khi khối lượng cốt liệu thô thay đổi từ 1000 - 1400kg/m³ bê tông.

Trở lại nghiên cứu này, RA là bê tông từ công trình cũ, được loại bỏ tạp chất và đạt kích cỡ hạt từ 9.5mm đến 19.0mm để thay thế cho 0%, 25%, 50%, 75%, 100% NA. Với cốt liệu tái chế này, bê tông được thiết kế thành phần theo hai phương pháp là phương pháp truyền thống ACI 211.1 [24] dựa trên khối lượng của 1m³ bê tông để xác định khối lượng của các vật liệu thành phần và phương pháp DMDA [25] sử dụng tro bay với nguyên lý làm giảm độ rỗng trong cấu trúc bê tông để đạt cường độ tốt nhất. Ảnh hưởng của RA và FA đến tính linh động và cường độ theo hai phương pháp thiết kế cấp phối trên được đánh giá thông qua độ sụt của bê tông ướt [26] và cường độ chịu nén của mẫu lập phương kích thước 150x150x150mm ở 28 ngày tuổi [27]. Để đánh giá ảnh hưởng của tro bay đến sự phát triển cường độ theo thời gian đối

với các hỗn hợp được thiết kế thành phần theo phương pháp DMDA thì cường độ chịu nén còn được thực hiện thêm ở các ngày 7, 14 và 56. Ngoài ra, các hỗn hợp bê tông thiết kế theo phương pháp DMDA với các tỉ lệ thay thế NA bằng RA 0%, 25%, 50% thì cường độ còn được đánh giá theo phương pháp bán phá hủy bằng mẫu khoan có đường kính 100mm trên tấm sàn dày 85mm, 100mm, 120mm theo [16] với mục đích đánh giá ảnh hưởng của tỉ số L/D đến cường độ chịu nén. Phương pháp không phá hủy là siêu âm được thực hiện bằng cách siêu âm trực tiếp trên mẫu khoan sàn và siêu âm gián tiếp trên bề mặt các tấm sàn theo [28] đối với hỗn hợp khi thay thế 0% và 50% RA. Kết quả của phương pháp siêu âm là thời gian lan truyền sóng để xác định vận tốc xung qua các hỗn hợp bê tông đồng cứng từ đó xác định quan hệ giữa vận tốc xung và cường độ chịu nén của RCA.

Quá trình chuẩn bị, chế tạo các hỗn hợp bê tông và các thí nghiệm được thực hiện ở phòng thí nghiệm công trình của Trường Đại học Tôn Đức Thắng. Kết quả nghiên cứu góp phần làm sáng tỏ ảnh hưởng của RA và FA đến cường độ của bê tông và hoàn thiện phương pháp đánh giá gián tiếp cường độ của bê tông cốt liệu tái chế.

2. VẬT LIỆU VÀ CHƯƠNG TRÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

a. Xi măng (OPC): là loại xi măng PC40 có cường độ 46N/mm², khối lượng riêng $\gamma_{OPC} = 3.10 \text{ g/cm}^3$.

b. Tro bay (FA): tro vàng được thu thập từ nhà máy nhiệt điện Trà Vinh, khối lượng riêng $\gamma_{FA} = 2.38 \text{ g/cm}^3$, các chỉ tiêu của tro bay đáp ứng theo ASTM C618-19 [29]. Thành phần ô xít của OPC và FA được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Thành phần ô xít của FA và OPC (%)

Thành phần	FA	OPC
SiO ₂	65.90	20.51
Al ₂ O ₃	24.00	5.37
Fe ₂ O ₃	2.87	2.10
CaO	1.59	57.05
MgO	0.42	3.86
MnO	0.06	0.02
K ₂ O	1.44	1.44
Na ₂ O	0.49	0.64
P ₂ O ₅	0.19	0.13
TiO ₂	0.92	0.16
SO ₃	-	6.37
LOI	1.53	2.35

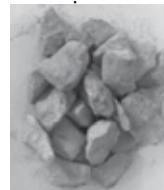
(LOI: phần trăm khối lượng mất khi nung).

c. Cốt liệu: cốt liệu mịn (SA) là cát sông có mô đun độ lớn $M_s = 2.50$, khối lượng riêng $\gamma_{SA} = 2.62 \text{ g/cm}^3$; Cốt liệu lớn (NA) là đá tự nhiên 1x2cm, kích thước hạt lớn nhất $D_{max} = 19\text{mm}$; Cốt liệu lớn tái chế (RA) là phần đầu cọc bê tông cốt thép sau khi đập bỏ để ngâm thép vào bể móng. Phần bê tông này được đập vụn, sàng để được kích cỡ từ 9.5mm đến 19mm, ngâm nước 48 giờ, vớt bỏ tạp chất, phơi khô hình 1. Thành phần của cốt liệu theo ASTM C33/C33M-18 [30] và thể hiện ở hình 2.

d. Nước (WA): nước sinh hoạt.



(a) Thu thập RA

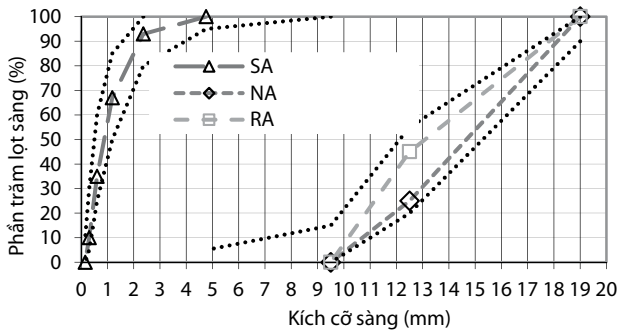


(b) RA trước xử lý



(c) RA sau xử lý

Hình 1. Thu thập và xử lý cốt liệu tái chế



Hình 2. Cấp phối hạt của cốt liệu

2.2. Thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông: hỗn hợp bê tông được thiết kế thành phần theo phương pháp ACI 211.1 truyền thống là dựa trên cường độ chịu nén mong muốn ở 28 ngày tuổi 30MPa, độ sụt 10cm để tính toán khối lượng vật liệu thành phần trong 1m³ và theo phương pháp DMDA (Densified Mixture Design Algorithm) dựa trên nguyên tắc cường độ bê tông đạt giá trị cao nhất khi có độ chặt lớn nhất [25]. Quá trình thiết kế hỗn hợp bê tông theo phương pháp DMDA được thực hiện qua các bước hình 11.

Theo hai phương pháp trên, có 5 hỗn hợp bê tông được thiết kế theo phương pháp ACI 211.1 là A00, A25, A50, A75, A100 và 5 hỗn hợp theo phương pháp DMDA là C00, C25, C50, C75, C100 khi thay thế RA cho NA với các tỉ lệ 0%, 25%, 50%, 75%, 100%. Thành phần các hỗn hợp được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3. Thành phần cấp phối các hỗn hợp bê tông

Kí hiệu hỗn hợp	Tỉ lệ thay thế RA cho NA (%)	WA/B	FA/SA	OPC (kg/m ³)	SA (kg/m ³)
A00	0%	0.54		379.60	670.72
A25	25%	0.54		379.60	670.72
A50	50%	0.54		379.60	670.72
A75	75%	0.54		379.60	670.72
A100	100%	0.54		379.60	670.72
C00	0%	0.50	0.176	221.25	657.38
C25	25%	0.50	0.176	204.85	810.25
C50	50%	0.50	0.176	206.34	796.37
C75	75%	0.50	0.176	207.88	782.04
C100	100%	0.50	0.176	209.47	767.22

(WA/B : tỉ lệ khối lượng nước và khối lượng xi măng, tro bay).

2.3. Thí nghiệm tính linh động: hỗn hợp bê tông tươi được thiết kế với độ sụt dự kiến thông qua thí nghiệm côn hình nón là 10±2cm, được xác định theo ASTM C143/C143M-12 [26].

2.4. Thí nghiệm cường độ chịu nén

Tương ứng với mỗi hỗn hợp bê tông chế tạo các mẫu thử hình lập phương kích thước 15x15x15cm để thí nghiệm nén trực tiếp. Mỗi ngày tuổi nén 6 mẫu và lấy giá trị trung bình cộng, quá trình thí nghiệm tuân thủ theo TCVN 3118:93 [27]



(a) Kết quả nén mẫu



(b) Mẫu bê tông bị phá

Hình 3. Thí nghiệm cường độ chịu nén

2.5. Thí nghiệm cường độ chịu nén của mẫu khoan: Hỗn hợp bê tông C00, C25, C50 được đúc thành sàn 1x1m với chiều dày 85mm, 100mm, 120mm. Trên mỗi sàn khoan lấy 3 mẫu có đường kính 100mm và thí nghiệm cường độ chịu nén, lấy giá trị trung bình của 6 mẫu đó ở 28 và 56 ngày tuổi. Quá trình thí nghiệm khoan cắt mẫu, giữ ẩm, xử lý bề mặt, bảo quản và nén mẫu theo ASTM C42/C42M-20 [16]



Tấm sàn với các chiều dày

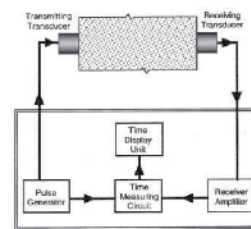


Mẫu bê tông bị phá hoại

Hình 4. Thí nghiệm cường độ chịu nén mẫu sàn

2.6. Thí nghiệm xung siêu âm

Trước khi thí nghiệm nén các mẫu ở mục 2.5, các mẫu được thí nghiệm siêu âm trực tiếp. Đầu phát và đầu thu xung sóng siêu âm được đặt vào 2 mặt của mẫu, đo thời gian lan truyền sóng qua các chiều dày để tính vận tốc xung siêu âm trực tiếp (V_{tt}) bằng cách lấy chiều dày mẫu (L) chia cho thời gian truyền sóng (T), kết quả vận tốc xung siêu âm là giá trị trung bình của 3 mẫu.



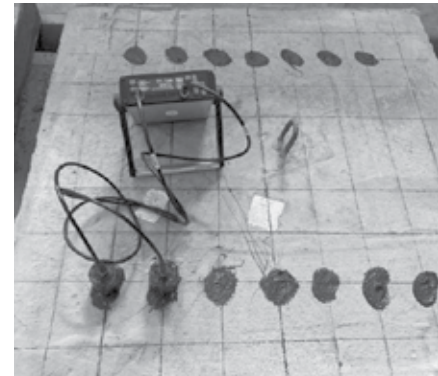
(a) Sơ đồ siêu âm mẫu



(b) Siêu âm mẫu trực tiếp

Hình 5. Thí nghiệm vận tốc xung siêu âm trực tiếp

Các sàn được siêu âm gián tiếp bằng cách chia lưới với kích thước ô 10cm, tại các vị trí nút đặt đầu phát và đầu thu, đo khoảng cách 2 đầu và thời gian truyền sóng, từ đó tính được vận tốc xung gián tiếp (V_{gt}). Quá trình thực hiện siêu âm tuân thủ theo ASTM C597-09 [28].



Hình 6. Thí nghiệm siêu âm gián tiếp

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tính linh động của bê tông cốt liệu tái chế theo phương pháp thiết kế cấp phối

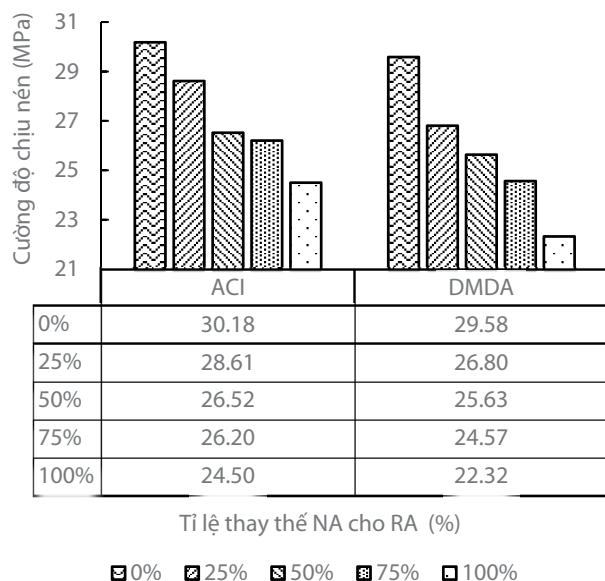
Kết quả thí nghiệm tính linh động của bê tông tươi theo phương pháp thiết kế cấp phối ACI 211.1 và phương pháp DMDA được thể hiện ở bảng 4.

Bảng 4. Độ sụt của các hỗn hợp bê tông

% RA thay thế cho NA	Độ sụt của bê tông (cm) theo phương pháp thiết kế cấp phối	
	ACI	DMDA
0%	11.20	10.40
25%	10.80	10.20
50%	10.50	10.30
75%	10.20	10.00
100%	9.70	9.80

Từ bảng 4, nhận thấy, bê tông thiết kế cấp phối theo phương pháp ACI, tính linh động của bê tông giảm xuống theo tỉ lệ thay thế RA cho NA vì khi sử dụng RA với lớp vữa xi măng cũ bám bên ngoài cốt liệu đã hấp thụ nhiều nước hơn so với cốt liệu tự nhiên NA [31] làm cho tính linh động của bê tông giảm xuống. Trong khi đó, khi thiết kế theo phương pháp DMDA tính linh động của bê tông thay đổi không đáng kể do trong thành phần hỗn hợp có tro bay. FA có hình dạng tròn nhỏ, mịn đã làm tăng tính linh động của bê tông tươi [32]. Ảnh hưởng của FA và RA đối với tính linh động của bê tông trái ngược nhau. FA làm tăng tính linh động còn RA thì ngược lại. Đối với nghiên cứu này, tương ứng với hàm lượng FA và RA được sử dụng thì tính linh động bê tông phù hợp với kết quả nghiên cứu ở [33].

3.2. Ảnh hưởng của cốt liệu tái chế đến cường độ chịu nén của bê tông theo phương pháp thiết kế thành phần cấp phối DMDA và ACI



Hình 7. Cường độ chịu nén của các hỗn hợp bê tông ở 28 ngày tuổi theo phương pháp thiết kế ACI và DMDA

Cường độ chịu nén của bê tông ở 28 ngày tuổi theo phương pháp thiết kế cấp phối ACI và DMDA khi thay thế RA cho NA theo các tỉ lệ được thể hiện ở hình 7. Theo cả hai phương pháp, cường độ đều suy giảm theo hàm lượng thay thế RA. Cụ thể, khi so sánh với bê tông không sử dụng RA, cường độ bê tông bị suy giảm tương ứng với tỉ lệ thay thế RA cho NA 25%, 50%, 75%, 100% theo phương pháp ACI là 5.20%, 12.12%, 13.18%, 18.82% và theo phương pháp DMDA là 9.39%, 13.36%, 16.96%, 24.55%. Sự suy giảm cường độ chịu nén của RCA là do trong cấu trúc có 3 vùng chuyển tiếp của môi trường vật liệu ITZ là: cốt liệu tự nhiên cũ với vữa xi măng mới (ITZ1), cốt liệu tự nhiên cũ với vữa xi măng cũ

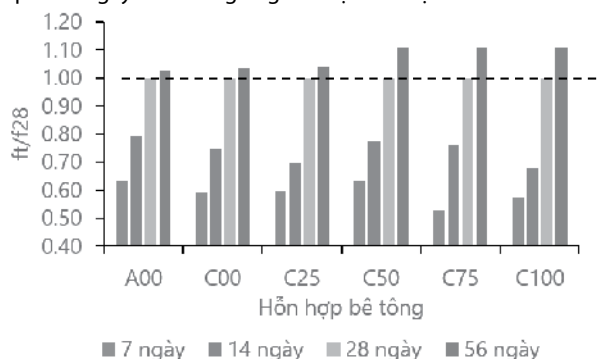
(ITZ2) và giữa vữa xi măng cũ với vữa xi măng mới (ITZ3), trong khi NCA chỉ có vùng ITZ1. Sự hình thành các vùng chuyển tiếp có cường độ thấp của RCA đã làm suy giảm cường độ của nó [34] và tỉ lệ suy giảm cường độ chịu nén của RCA ở nghiên cứu này phù hợp với các kết quả được thể hiện ở [7] và các công bố trước.

Mặt khác, cũng theo kết quả này nhận thấy cường độ trung bình các hỗn hợp bê tông thiết kế theo DMDA xấp xỉ với phương pháp ACI (bằng 94.77%) nhưng lượng xi măng khi thiết kế theo phương pháp DMDA giảm đến 44.69% so với phương pháp ACI và khi thiết kế theo phương pháp DMDA, lượng tro bay cần thiết sử dụng chiếm 17.64% so với khối lượng cát.

Khi thiết kế theo phương pháp DMDA, tro bay với kích thước hạt siêu mịn đã lấp đầy khoảng hở của cốt liệu nhỏ (cát), hỗn hợp tro bay kết hợp với cát đã lấp đầy khoảng hở của cốt liệu lớn nên hỗn hợp bê tông đã giảm tối đa độ rỗng dư trong cấu trúc [25]. Ngoài chức năng lấp đầy, tro bay còn có vai trò tạo chất kết dính cho hỗn hợp bê tông [9]. Do đó, khi thiết kế thành phần hỗn hợp theo phương pháp DMDA đã tối ưu được độ chặt trong cấu trúc hỗn hợp và bổ sung chất kết dính nên cường độ bê tông tương đương với trường hợp thiết kế theo phương pháp ACI mà lượng xi măng giảm xuống đáng kể.

3.3. Ảnh hưởng của tro bay đến sự phát triển cường độ của bê tông

Ảnh hưởng của tro bay đến cường độ của bê tông theo thời gian đối với các hỗn hợp bê tông thiết kế theo phương pháp DMDA nhận thấy khi so sánh với cường độ của hỗn hợp không sử dụng tro bay A00 qua các ngày tuổi tương ứng và được thể hiện ở hình 8.



Hình 8. Cường độ chịu nén của bê tông theo thời gian

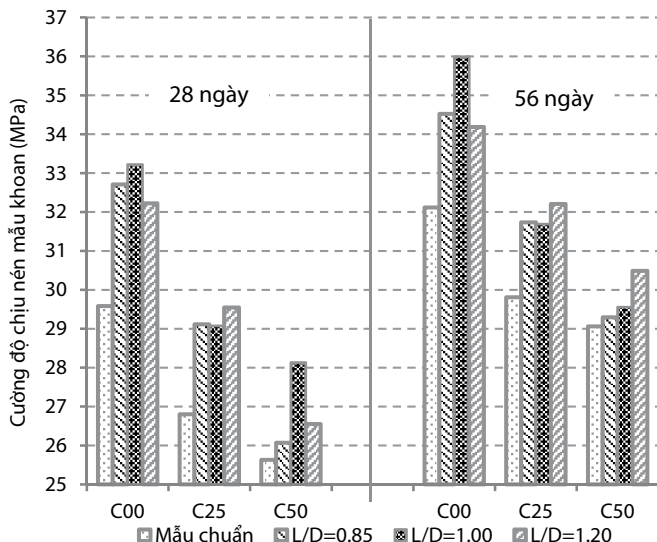
(ft: cường độ ở các ngày tuổi; f28: cường độ ở 28 ngày tuổi)

Từ hình 8, nhận thấy bê tông không sử dụng tro bay phát triển mạnh cường độ trước 28 ngày tuổi trong khi bê tông có sử dụng tro bay phát triển cường độ muộn hơn. Đối với mẫu có sử dụng tro bay, trong khoảng thời gian từ 28 đến 56 ngày, cường độ chịu nén tăng trung bình đến 7.95% trong khi bê tông không sử dụng tro bay chỉ là 2.87%. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu ở [9-11]. Điều này được xem là do nước phản ứng với các hạt xi măng trước khi phản ứng với tro bay trong quá trình hydrat để tạo ra chất kết dính [35] dẫn đến cường độ bê tông có tro bay phát triển chậm hơn.

3.4. Ảnh hưởng của kích thước mẫu khoan (L/D) đối với cường độ của bê tông cốt liệu tái chế

Tương quan giữa cường độ chịu nén ở các mẫu khoan trên sàn với các tỉ lệ L/D bằng 0.85, 0.90, 1.20 với cường độ của mẫu đối chứng lập phương được thể hiện ở hình 9. Kết quả thể hiện cho ba loại bê tông C00, C25 và C50 ở 28 và 56 ngày tuổi. Theo kết quả này: cường độ chịu nén của bê tông ở các mẫu khoan trên sàn đều cao hơn mẫu đối chứng. Cụ thể ở tuổi 28 ngày, tương ứng chiều dày sàn 85mm (L/D = 0.85) cường độ cao hơn mẫu đối chứng 6.69%, chiều dày sàn 100mm

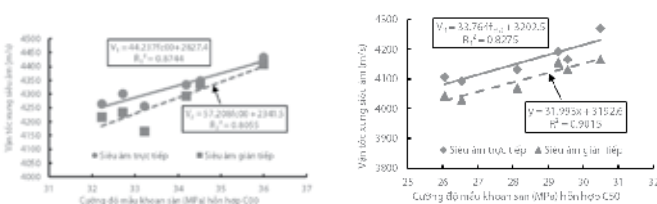
($L/D = 1.00$) là 9.30% và chiều dày sàn 120mm ($L/D = 1.20$) là 7.14%. Kết quả cũng tương tự ở 56 ngày tuổi, với tỉ lệ cường độ tăng lên lần lượt là 4.78%, 6.43%, 6.08%. Sự chênh lệch cường độ của mẫu khoan trên sàn so với mẫu đối chứng được giải thích theo nghiên cứu của Khoury [36] khi cường độ chịu nén ước tính theo các phương pháp khác nhau thì khác nhau.



Hình 9. Cường độ chịu nén mẫu khoan sàn

Khi so sánh cường độ chịu nén của mẫu bê tông cốt thép theo hàm lượng thay thế RA nhận thấy: đối với bê tông không sử dụng RA (C00), cường độ mẫu khoan lớn hơn cường độ mẫu đối chứng 8.78%, đối với C25 là 7.42% và đối với C50 là 3.60%. Vì vậy, khi hàm lượng RA càng lớn thì sự chênh lệch cường độ ở mẫu khoan với mẫu đối chứng càng giảm. Điều này có thể được xem xét vì trong ba loại bê tông trên thì C00 có hàm lượng NA trong bê tông càng nhiều nhất, trong quá trình khoan cắt, mũi khoan va chạm với NA làm ảnh hưởng đến cấu trúc của bê tông, dẫn đến cường độ giảm mạnh ở mẫu khoan. Trong khi đó, đối với bê tông sử dụng RA do hàm lượng NA ít hơn nên mũi khoan dễ dàng cắt qua môi trường vữa xung quanh cốt liệu, sự va chạm của mũi khoan với cốt liệu đá được hạn chế dẫn đến cường độ thay đổi ít hơn.

3.5. Quan hệ giữa cường độ và vận tốc xung siêu âm



Hình 10. Tương quan giữa vận tốc xung siêu âm và cường độ chịu nén

Từ kết quả thí nghiệm siêu âm theo phương pháp trực tiếp và gián tiếp của C00, C50 ở 28 và 56 ngày tuổi thể hiện sự tương quan giữa vận tốc xung với cường độ chịu nén của bê tông được thể hiện ở hình 10. Đối với cả hai loại bê tông, vận tốc xung siêu âm tỉ lệ với cường độ chịu nén, bê tông có cường độ càng cao thì vận tốc xung siêu âm càng lớn. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu được thể hiện ở [21-23] và các nghiên cứu trước đây khi mà sóng siêu âm có tốc độ cao trong môi trường đặc chắc và sự đặc chắc trong cấu trúc bê tông tỉ lệ với cường độ của nó. Ảnh hưởng của phương pháp siêu âm đến vận tốc xung cũng thể hiện rõ, khi bê tông có cùng cường độ, vận tốc xung của phương pháp trực tiếp luôn lớn hơn phương pháp gián tiếp.

Nguyên nhân của hiện tượng này là do khi siêu âm gián tiếp, khoảng cách giữa đầu phát và đầu thu sóng lớn hơn nên cường độ tín hiệu xung bị suy giảm đáng kể dẫn đến vận tốc xung theo phương pháp này nhỏ hơn [28].

Quan hệ giữa cường độ bê tông và vận tốc xung siêu âm có thể biểu thị qua qui luật tuyến tính với các hệ số xác định (R^2) như sau :

$$C00 \text{ và siêu âm trực tiếp : } V_1 = 44.237fc_{00} + 2827.4 \quad (13)$$

$$R^2 = 0.8744$$

$$C00 \text{ và siêu âm gián tiếp : } V_2 = 57.208fc_{00} + 2341.5 \quad (14)$$

$$R^2 = 0.8055$$

$$C50 \text{ và siêu âm trực tiếp : } V_3 = 33.764fc_{50} + 3202.5 \quad (15)$$

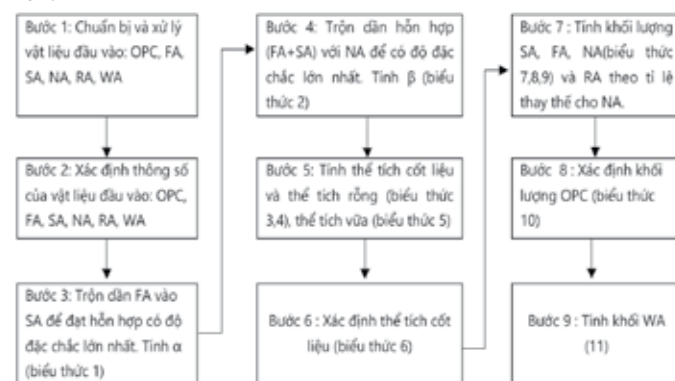
$$R^2 = 0.8275$$

$$C50 \text{ và siêu âm gián tiếp : } V_4 = 31.993fc_{50} + 3192.6 \quad (16)$$

$$R^2 = 0.9015$$

Trong đó: fc_{00} : cường độ mẫu khoan sàn C00, MPa; fc_{50} : cường độ mẫu khoan sàn C50, MPa; V_1 : vận tốc xung trực tiếp của C00, m/s; V_2 : vận tốc xung gián tiếp của C00, m/s; V_3 : vận tốc xung trực tiếp của C50, m/s; V_4 : vận tốc xung gián tiếp của C50, m/s.

Từ các biểu thức (13-16) nhận thấy quan hệ giữa cường độ bê tông và vận tốc xung siêu âm đối với NCA và RCA là khác nhau đáng kể. Hàm lượng NA trong bê tông có ảnh hưởng đến vận tốc truyền sóng [23] và sự ảnh hưởng này cần được đánh giá chi tiết hơn.



Hình 11. Sơ đồ thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông

4. KẾT LUẬN

Nội dung bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đặc tính về cường độ của bê tông có sử dụng cốt liệu tái chế thông qua các thí nghiệm. Từ kết quả thu được, có thể đưa ra một số đánh giá sau :

Khi thiết kế thành phần cấp phối bê tông sử dụng cốt liệu tái chế và tro bay theo phương pháp DMDA có thể giảm được 39.04% lượng xi măng so với phương pháp ACI để có cường độ của bê tông đồng cứng tương đương. Ảnh hưởng của RA và FA đến tính linh động của bê tông trái ngược nhau, RA làm giảm tính linh động của bê tông còn FA có tác dụng ngược lại.

Cường độ bê tông cốt liệu tái chế giảm theo tỉ lệ thay thế RA cho NA. Khi thay thế hoàn toàn NA bằng RA có kích cỡ hạt từ 9.50mm đến 19mm thì cường độ giảm đến 23.00% ở 56 ngày tuổi.

RCA có cường độ chịu nén trên mẫu khoan sàn lớn hơn mẫu đối chứng. Sự chênh lệch giữa cường độ mẫu khoan sàn và mẫu đối chứng giảm theo tỉ lệ thay thế RA cho NA và nằm trong giới hạn của [16] và [17].

Vận tốc xung có quan hệ tuyến tính với cường độ chịu nén của bê tông và vận tốc xung trực tiếp luôn lớn hơn gián tiếp đối với cả RCA và NCA. Ảnh hưởng của hàm lượng thay thế RA đến vận tốc xung cần nghiên cứu với số liệu đầy đủ hơn.

PHỤ LỤC TÍNH THÀNH PHẦN CẤP PHỐI THEO DMDA

Xác định tỉ lệ trộn FA và SA để có độ đặc chắc lớn nhất

$$\alpha = \frac{W_{FA}}{W_{FA} + W_{SA}} \quad (1)$$

Xác định tỉ lệ trộn FA, SA và cốt liệu lớn NA để có độ đặc chắc lớn nhất

$$\beta = \frac{W_{FA} + W_{SA}}{W_{FA} + W_{SA} + W_{NA}} \quad (2)$$

Xác định thể tích rỗng trong hỗn hợp :

Thể tích cốt liệu

$$V_{AGG} = V_{NA} + V_{FA} + V_{SA} \quad (3)$$

Thể tích rỗng

$$V_V = 1 - V_{AGG} \quad (4)$$

Xác định thể tích vữa

$$V_p = nV_V \quad (5)$$

Xác định thể tích cốt liệu :

$$V_{AGG} = 1 - V_p \quad (6)$$

Xác định khối lượng cốt liệu :

Khối lượng SA

$$W_{SA} = \frac{V_{AGG}}{\left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)\frac{1}{\gamma_{FA}} + \frac{1}{\gamma_{SA}} + \left(\frac{1-\beta}{\beta-\alpha\beta}\right)\frac{1}{\gamma_{NA}}} \quad (7)$$

Khối lượng FA

$$W_{FA} = W_{SA} \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) \quad (8)$$

Khối lượng NA :

$$W_{NA} = W_{SA} \left(\frac{1-\beta}{\beta-\alpha\beta}\right) \quad (9)$$

Khối lượng RA: sau khi xác định khối lượng NA, khối lượng RA tính theo % của NA lần lượt theo các tỉ lệ 0%, 25%, 50%, 75% và 100%.

Xác định khối lượng nước và xi măng :

Khối lượng xi măng

$$W_{OPC} = \frac{V_p - \lambda \frac{W_{FA}}{\gamma_{WA}}}{\frac{\lambda}{\gamma_{WA}} + \frac{1}{\gamma_{OPC}}} \quad (10)$$

Khối lượng nước : $W_{WA} = \lambda W_{OPC}$ (11)

Ở đây: W_{SA} , W_{FA} , W_{NA} , W_{RA} , W_{OPC} , W_{WA} lần lượt là khối lượng của cát, tro bay, đá tự nhiên, cốt liệu tái chế, nước; γ_{SA} , γ_{FA} , γ_{NA} , γ_{RA} , γ_{OPC} , γ_{WA} lần lượt là khối lượng riêng của cát, tro bay, cốt liệu đá tự nhiên, cốt liệu tái chế, nước; n : hệ số kinh nghiệm lấy bằng 1.20; λ : tỉ lệ khối lượng nước và chất kết dính chọn bằng 0.50.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Fediuk, R., A. Pak, and D. Kuzmin, Fine-Grained Concrete of Composite Binder. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. **262**: p. 012025.
- [2]. Lesovik, V., et al., Textile-reinforced concrete using composite binder based on new types of mineral raw materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. **327**: p. 032033.
- [3]. Klyuev, S.V., et al., High-Strength Fine-Grained Fiber Concrete with Combined Reinforcement by Fiber. Journal of Engineering and Applied Sciences, 2018. **13**: p. 6407-6412.
- [4]. Fediuk, R., et al., Self-compacting concrete using pretreated rice husk ash. Magazine of Civil Engineering, 2018. **79**: p. 66-76.
- [5]. Mohseni, E., et al., Engineering and microstructural assessment of fibre-reinforced self-compacting concrete containing recycled coarse aggregate. Journal of Cleaner Production, 2017. **168**: p. 605-613.
- [6]. Hiete, M., et al., Matching construction and demolition waste supply to recycling demand: A regional management chain model. Building Research and Information, 2011. **39**: p. 333-351.
- [7]. Aliabdo, A., A.E. Abd Elmoaty, and M. Fawzy, Experimental investigation on permeability indices and strength of modified pervious concrete with recycled concrete aggregate. Construction and Building Materials, 2018. **193**: p. 105-127.

- [8]. Reddy, S.A.K. and D.K.C. Reddy, Effect of Fly Ash on Strength and Durability Parameters of Concrete. International Journal of Science and Research (IJSR), 2015. **4**(5): p. 1368-1370.
- [9]. Muhedin, D., A. hama rash, and M. Hamakareem, Sustainable Concrete by Using Fly ash as a Cement Replacement. 2016.
- [10]. Upadhyay, R., et al., Effect of Fly Ash on Flexural Strength of Portland Pozzolona Cement Concrete. Journal of Academia and Industrial Research (JAIR), 2014. **3**: p. 218-220.
- [11]. Akid, A., et al., Assessing the influence of fly ash and polypropylene fiber on fresh, mechanical and durability properties of concrete. Journal of King Saud University, 2021.
- [12]. Soares, D., et al., In situ materials characterization of full-scale recycled aggregates concrete structures. Construction and Building Materials, 2014. **71**: p. 237-245.
- [13]. Madandoust, R. and M. Kazemi, Numerical analysis of break-off test method on concrete. Construction and Building Materials, 2017. **151**: p. 487-493.
- [14]. Madandoust, R., Z. Bazkiaei, and M. Kazemi, Factor influencing point load tests on concrete. Asian Journal of Civil Engineering, 2018. **19**.
- [15]. Madandoust, R. and A.M. Alizadeh, Assessing the Effective Parameters on Normal Strength Concrete by Core Testing. 2015.
- [16]. ASTM-C42/C42M-20, Standard method of obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete 2020.
- [17]. BS-1881-120, Testing Concrete Method for Determination of the Compressive Strength of Concrete Cores 1983.
- [18]. Kazemi, M., R. Madandoust, and J. Brito, Compressive strength assessment of recycled aggregate concrete using Schmidt rebound hammer and core testing. Construction and Building Materials, 2019. **224**: p. 630-638.
- [19]. Hannachi, S. Review of the ultrasonic pulse velocity Evaluating concrete compressive strength on site. 2014.
- [20]. Lee, T., J.J.C. Lee, and B. Materials, Setting time and compressive strength prediction model of concrete by nondestructive ultrasonic pulse velocity testing at early age. 2020. **252**: p. 119027.
- [21]. Ofuyatan, O.M., et al., Predicting the Compressive Strength of Concrete By Ultrasonic Pulse Velocity. 2021. **1036**.
- [22]. Mohammed, A. Compressive Strength-Ultrasonic Pulse Velocity Relationship of Concrete Containing Plastic Waste. 2020.
- [23]. Al-Numan, B.S., et al., Effect of Aggregate Content on the Concrete Compressive Strength - Ultrasonic Pulse Velocity Relationship. 2017. **4**: p. 1-5.
- [24]. ACI-211.1, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. 1991.
- [25]. Techman, M. and S. Skibicki, Use of DMDA method for production of heavyweight concrete. 2018.
- [26]. ASTM-C143/C143M-12, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. 2012.
- [27]. TCVN-3118:93, Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén. 1993.
- [28]. ASTM-C597-09, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete 2009.
- [29]. ASTM-C618-19, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. 2019.
- [30]. ASTM-C33/C33M-18, Standard Specification for Concrete Aggregates 2018.
- [31]. Hansen, T. and H. Narud, Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. Concrete International, 1983. **5**: p. 79-83.
- [32]. Chindaprasirt, P., et al., Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar. 2004. **34**: p. 1087-1092.
- [33]. Kurda, R., J. Brito, and J. Silvestre, Influence of recycled aggregates and high contents of fly ash on concrete fresh properties. Cement and Concrete Composites, 2017. **84**.
- [34]. Zhang, H., et al., Mechanical behavior of ultra-high performance concrete (UHPC) using recycled fine aggregate cured under different conditions and the mechanism based on integrated microstructural parameters. 2018.
- [35]. Hashmi, A., M. Shariq, and A. Baqi, An investigation into age-dependent strength, elastic modulus and deflection of low calcium fly ash concrete for sustainable construction. Construction and Building Materials, 2021. **283**: p. 122772.
- [36]. Khoury, S.S., A.A. Aliabdo, and A. Ghazy, Reliability of core test Critical assessment and proposed new approach. Alexandria Engineering Journal, 2014. **53**: p. 169-184.