

Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng cốt sợi thép đến tính chất của bê tông cốt liệu nhẹ

Dương Minh Hiệp^{1*}, Bùi Lê Anh Tuấn², Nguyễn Văn Thanh², Nguyễn Đình Giang Nam³, Lê Hoàng⁴

¹ Ban Quản lý dự án và Phát triển quỹ đất quận Cái Răng, Thành phố Cần Thơ

² Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Cần Thơ

³ Khoa Môi trường & Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

⁴ Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Kỹ thuật – Công nghệ Cần Thơ

TỪ KHOA

Bê tông nhẹ
Cốt liệu nhẹ
Bê tông cốt liệu nhẹ
Sợi thép
Vận tốc xung siêu âm

TÓM TẮT

Nghiên cứu đánh giá sự ảnh hưởng của sợi thép đối với tính chất của bê tông cốt liệu nhẹ. Các cấp phối được thiết kế với tỷ lệ Nước/Chất kết dính là 0,35 với độ sụt thiết kế là 60-80mm. Các thí nghiệm độ sụt, khối lượng thể tích, cường độ chịu nén, cường độ kéo khi uốn, cường độ kéo khi ép chèn, vận tốc xung siêu âm của bê tông đã được kiểm tra. Kết quả về độ sụt của bê tông đạt yêu cầu thiết kế và có chiều hướng giảm khi hàm lượng cốt thép tăng, khối lượng thể tích khô của bê tông nhẹ nhỏ hơn 13 % đến 15 % so với cấp phối bê tông đối chứng CNA và đạt yêu cầu bê tông nhẹ theo tiêu chuẩn EN 206-1: 2013, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, cường độ chịu kéo khi chèn và vận tốc xung siêu âm của bê tông có chiều hướng tăng khi hàm lượng sợi thép tăng trong cấp phối bê tông nhẹ. Qua các kết quả phân tích tính chất của bê tông cho thấy khi ứng dụng sợi thép vào bê tông nhẹ giúp cải thiện đáng kể tính chất của bê tông.

KEYWORDS

Lightweight concrete
Lightweight aggregate
Lightweight aggregate concrete
Steel fibers
Ultrasonic pulse velocity

ABSTRACT

This research investigated significant effects of steel fibers on the properties of lightweight aggregate concrete. The mixes are designed with a Water/Binder ratio of 0.35 with a design slump of 60-80mm. Slump, bulk density, compressive strength, flexural strength and ultrasonic pulse velocity of concrete were tested. The results of the concrete slump meet the design requirements and tend to decrease as the steel fiber content increases. The dry bulk density of lightweight concrete is 13% to 15% smaller than the CNA control concrete mix and meets the requirements for lightweight concrete according to EN 206-1: 2013 standards, the compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength and ultrasonic pulse velocity of concrete increase when the steel fiber content increases in the concrete mix lightweight concrete. The results of analyzing the properties of concrete show that applying steel fibers to lightweight concrete significantly improves the properties of concrete.

1. Giới thiệu

Bê tông cốt liệu nhẹ đã và đang được sử dụng rộng rãi, phổ biến hơn trước đây rất nhiều. Loại bê tông này sử dụng cốt liệu nhẹ nhân tạo thay thế một phần hay hoàn toàn cốt liệu lớn trong bê tông, việc thay thế này vẫn đảm bảo tính công tác cũng như cường độ cho bê tông trong xây dựng nhưng giúp giảm trọng lượng cho toàn bộ công trình.

Những năm gần đây việc nghiên cứu chế tạo và ứng dụng cốt liệu nhẹ nhân tạo thân thiện với môi trường nhằm mục đích thay thế các vật liệu tự nhiên đã và đang được các nhà khoa học quan tâm mạnh mẽ, đặc biệt là việc tận dụng nguồn các nguồn phụ phẩm từ các nhà máy nhiệt điện than như tro bay. Thông thường cốt liệu nhân tạo sử dụng trong sản xuất bê tông được sản xuất bằng hai phương pháp chủ yếu là phương pháp nung [2,3] và phương pháp liên kết nguội [4,5]. Tuy nhiên, phương pháp liên kết nguội được xem là ít tốn năng lượng

và không ảnh hưởng đến môi trường hơn [6]. Cốt liệu nhẹ nhân tạo được sản xuất từ tro bay kết hợp với một lượng nhỏ xi măng làm chất kết dính trong cấp phối, loại này được ứng dụng vào sản xuất bê tông nhẹ với ưu điểm thân thiện môi trường và đây có thể được xem là một giải pháp tiêu thụ một lượng lớn tro bay từ các nhà máy nhiệt điện than [1].

Độ bền của bê tông sử dụng cốt liệu nhẹ từ phương pháp liên kết nguội với tỷ lệ cấp phối của hỗn hợp tro bay và muối silic đã được nghiên cứu. Chín hỗn hợp bê tông nhẹ được sản xuất với tỷ lệ nước/chất kết dính cố định là 0,35 và khối lượng chất kết dính trong hỗn hợp được duy trì 550 kg/m³. Kết quả thử nghiệm cho thấy việc kết hợp các phụ gia khoáng đã tăng cường đáng kể khả năng chống thấm. Cường độ nén của bê tông có sử dụng muối silic cao hơn nhiều so với bê tông đối chứng [7]. Một số loại cốt liệu nhẹ được lựa chọn sử dụng như cốt liệu lớn trong việc sản xuất bê tông nhẹ đã được nghiên cứu và kiểm chứng.

*Liên hệ tác giả: ttptqdhiep@gmail.com

Nhận ngày 03/05/2023, sửa xong ngày 16/09/2023, chấp nhận đăng 23/09/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2023.570>

Kết quả cho thấy cốt liệu nhẹ với khối lượng thể tích vào khoảng 1g/cm^3 , độ hút nước từ 12,84-16%, cường độ chịu nén vỡ có thể đến 1,14 MPa có thể được sản xuất. Cường độ chịu nén ở 28 ngày của bê tông nhẹ đạt từ 17,5-25,1 MPa với tỷ lệ nước - xi măng là 0,30. Khối lượng thể tích khô của bê tông nhẹ giảm đáng kể, đạt $1,869\text{ g/cm}^3$. Độ hút nước của bê tông nhẹ cao hơn so với độ hút nước của bê tông thường [1].

Bên cạnh đó, việc nghiên cứu bổ sung sợi thép vào trong bê tông có thể thay đổi đáng kể tính chất của bê tông vì chúng ảnh hưởng đến tính chất của bê tông cả ở trạng thái tươi lẫn trạng thái rắn. Đóng góp chính của sợi thép là sự cải thiện tính chất của bê tông đông cứng. Phạm vi cải thiện bởi việc thêm cốt sợi làm thay đổi tính chất của bê tông phụ thuộc kiểu sợi, đặc trưng hình học của sợi, hàm lượng sợi trong bê tông và sự định hướng sợi trong bê tông cũng như bởi sự liên kết giữa nền bê tông và cốt sợi [8]. Khi thêm sợi thép vào bê tông giúp cải thiện một số tính chất như cải thiện cường độ chịu kéo khi uốn, độ bền kéo, tăng khả năng chịu va chạm, khả năng chịu biến dạng, khả năng kháng nứt khi chịu tải trọng, kháng nứt do co ngót.

Nghiên cứu sử dụng kết hợp tro bay và muội silic để đánh giá ảnh hưởng của nó đến các tính chất của bê tông cốt sợi thép đã được thực hiện. Hàm lượng sợi thép thiết kế là $0,1 \div 1\%$ theo thể tích của hỗn hợp bê tông. Kết quả thực nghiệm cho thấy hàm lượng sợi sử dụng làm giảm độ linh động của hỗn hợp bê tông. Thành phần hỗn hợp bê tông khi sử dụng sợi thép từ $0,5 \div 1\%$ có khả năng cải thiện các tính chất cơ học. Cường độ chịu nén và cường độ kéo khi ép chèn của bê tông được cải thiện khoảng 10-15%, cường độ kéo khi uốn tăng đến 20% so với cấp phối đối chứng [8]. Việc ảnh hưởng của chiều dài sợi thép đến tính công tác của bê tông được thực hiện với hai loại sợi thép khác nhau (cả hai đều có đầu móc) được sử dụng với tỷ lệ 0% (đối chứng), 0,3%, 0,64%, 1% và 1,3% theo khối lượng. Độ sụt, độ chảy xè và khối lượng thể tích của bê tông được thực nghiệm. Kết quả chỉ ra rằng tính công tác của bê tông giảm đáng kể khi hàm lượng sợi tăng lên. Điều này đã được đánh giá thông qua kiểm tra độ sụt tiêu chuẩn và độ chảy xè [9].

Qua các nghiên cứu, có thể nhận định được việc sản xuất bê tông từ cốt liệu nhẹ hiện đang được các nhà khoa học quan tâm. Đặc biệt là sử dụng cốt liệu nhẹ được sản xuất từ các phụ phẩm trong công nông nghiệp để sản xuất bê tông. Bên cạnh đó, việc nghiên cứu ứng dụng sợi thép vào bê tông cốt liệu nhẹ để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến tính chất của bê tông nhẹ theo các tiêu chuẩn hiện hành là rất cần thiết.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu sử dụng

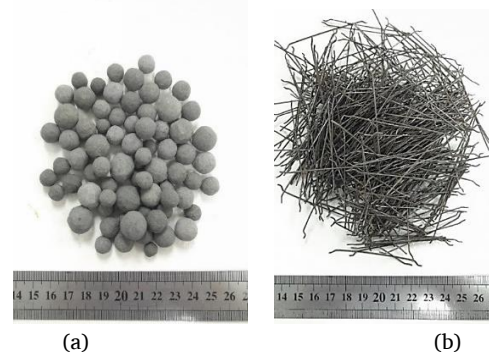
Nguyên liệu sản xuất bê tông nhẹ được cung cấp từ các nhà máy, đại lý tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. Tính chất cơ lý của vật liệu được thể hiện ở Bảng 1 Tro bay làm thành chính trong cấp phối sản xuất cốt liệu nhẹ được lấy từ nhà máy nhiệt điện than Duyên Hải I - Trà Vinh. Xi măng PCB 40 được dùng làm chất kết dính để sản xuất cốt liệu nhẹ và bê tông. Đá 10x20 với hàm lượng cốt liệu tập trung ở rây sàng

5-10 mm chiếm 92,86 %, D_{max} và D_{min} lần lượt là 20 mm và 10 mm. Cát có mô đun độ lớn 1,63.

Bảng 1. Tính chất của vật liệu sử dụng.

Vật liệu	Đá 10x20	Cốt liệu nhẹ	Cát	Xi măng	Tro bay	Sợi thép
Khối lượng riêng (kg/m^3)	2690	2371	2604	2997	2215	7850
Khối lượng thể tích xóp (kg/m^3)	1485	1002	1483	-	-	-
Độ hút nước (%)	0,34	17,6	0,8			
Cường độ nén từng viên (MPa)	-	1,87	-	-	-	-

Cốt liệu nhẹ được sử dụng trong nghiên cứu được sản xuất từ tro bay và xi măng với tỷ lệ khối lượng 90/10 [1]. Cốt liệu nhẹ được sản xuất (Hình 1.a) với hàm lượng cốt liệu tập trung ở rây sàng 5-10mm và nhỏ hơn ~25 % so với cốt liệu tự nhiên (đá 10x20), cường độ nén từng viên của cốt liệu nhẹ đạt cường độ 1,87 MPa. Sợi thép (Hình 1.b) sử dụng cho bê tông được cung cấp từ cơ sở sản xuất thép ở khu vực có chiều dài 35 mm và đường kính 5 mm với tỷ lệ L/D là 70 được thêm vào cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ để đánh giá ảnh hưởng của sợi đến tính chất bê tông. Nước sử dụng sản xuất cốt liệu nhẹ và trộn bê tông là nước máy tại nơi làm thí nghiệm.



Hình 1. Cốt liệu nhẹ và sợi thép: (a) Cốt liệu nhẹ và (b) Sợi thép.

2.2. Thiết kế cấp phối bê tông

Tỷ lệ Nước/Chất kết dính được giữ cố định là 0,35 và độ sụt thiết kế 60-80 mm. Cấp phối đối chứng là cấp phối sử dụng 10x20. Đối các trường hợp cấp phối dùng cốt liệu nhẹ, đá 10x20 được thay thế hoàn toàn bằng cốt liệu nhẹ theo thể tích không đổi và sợi thép được thêm vào trong hỗn hợp cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ với 03 tỷ lệ lần lượt là 0,15 %; 0,25 % và 0,35 % theo khối lượng thể tích của bê tông. Thành phần vật liệu trong các cấp phối bê tông được liệt kê trong Bảng 2. Do đặc tính hút nước cao của cốt liệu nhẹ, cốt liệu nhẹ được ngâm trong nước máy trong 24 giờ trước khi đổ bê tông.

Bảng 2. Cấp phối của bê tông.

STT	Cấp phối	Nước/chất kết dính	Đá 10x20	Cốt liệu nhẹ	Cát	Xi măng	Nước	Đơn vị : kg/m ³		
								Sợi thép (%)		
								0,15	0,25	0,35
1	CNA	0,35	1255,4	-	725	383,9	134,3	-	-	-
2	LWC		-	778,5				-	-	-
2	LWC0.15		-	778,5				11,7	-	-
3	LWC0.25		-	778,5				-	19,6	-
4	LWC0.35		-	778,5				-	-	27,4

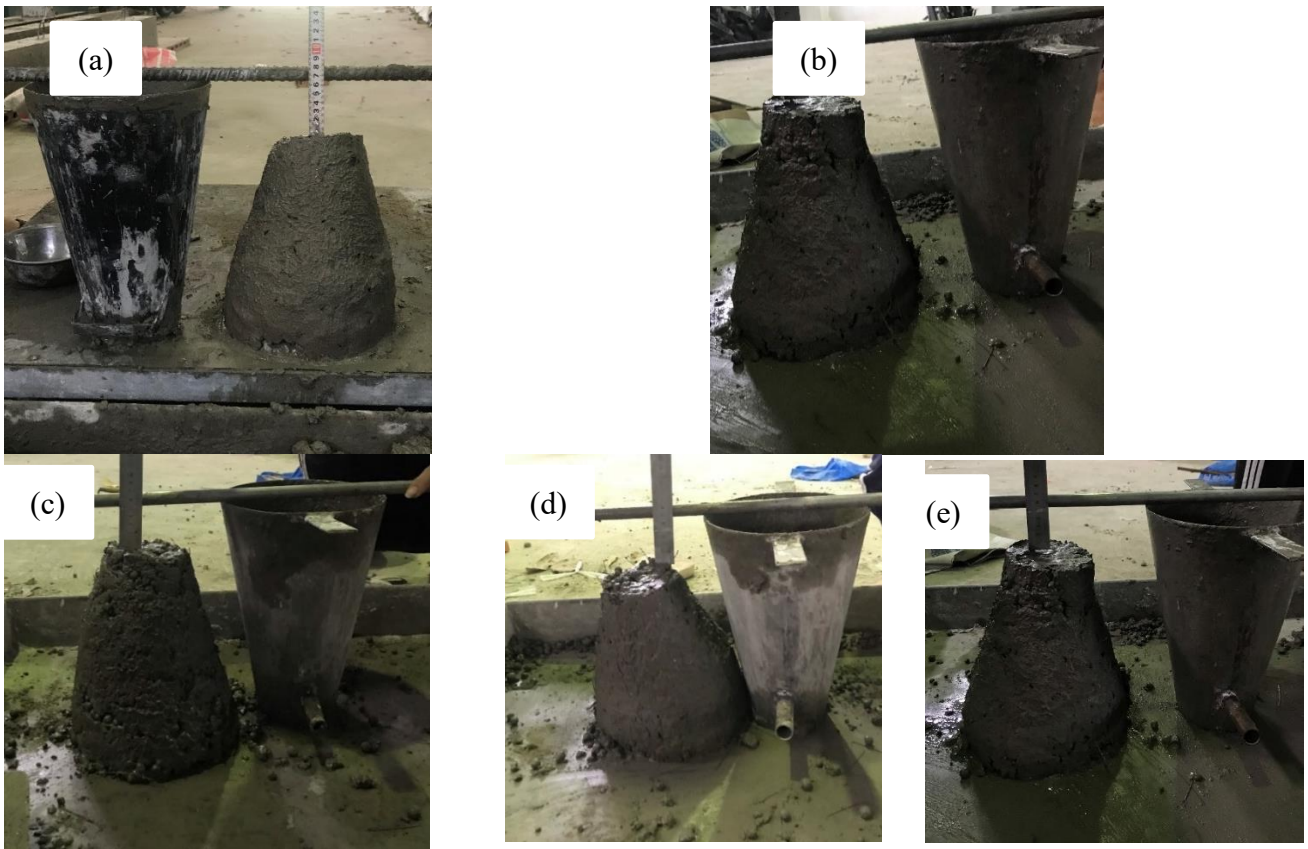
2.4. Phương pháp thử nghiệm

Quy trình trộn bê tông: Đầu tiên, cho hỗn hợp cát và xi măng vào trộn đều 3 phút, sau đó cho ½ lượng nước vào trong máy để tạo vữa, tiếp cho cho hỗn hợp cốt liệu lớn (đá 10x20 hoặc cốt liệu nhẹ) và cho ½ lượng nước còn lại vào máy trộn. Kiểm tra độ sụt [10] và cho hỗn hợp vào khuôn theo các tiêu chí kiểm tra như cường độ chịu nén [11], cường độ kéo khi uốn [12], cường độ kéo khi ép chèn [13], vận tốc xung siêu âm [14].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Độ sụt và khối lượng thể tích khô của bê tông

Bảng 3 thể hiện độ sụt của bê tông được sản xuất, độ sụt của các cấp phối bê tông được sản xuất nằm trong khoảng từ 60-70 mm đạt yêu cầu thiết kế. Độ sụt của các cấp phối bê tông CNA, LWC và LWC0.15 (Hình 2.a-c) có độ sụt bằng nhau đều là 70mm và đối với 02 cấp phối còn lại LWC0.25 (Hình 2.d) và LWC0.35 (Hình 2.e) có độ sụt lần lượt là 65 mm và 60 mm.



Hình 2. Độ sụt của bê tông (a) CNA; (b) LWC; (c) LWC0.15; (d) LWC0.25; (e) LWC0.35

Đối với cấp phối bê tông nhẹ khi sử dụng sợi thép vào trong cấp phối cho thấy chiều hướng độ sụt giảm dần khi hàm lượng sợi thép tăng. Tuy nhiên, đối với trường hợp cấp phối LWC0.15 cho thấy độ sụt

không thay đổi so với cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ không sử dụng cốt sợi, điều này cho thấy việc thêm vào hàm lượng sợi thép 0.15% không ảnh hưởng nhiều đến tính công tác của bê tông cốt liệu nhẹ. Bên cạnh

đó, khi tăng hàm lượng sợi thép trong cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ lên đến 0,25 % và 0,35 % cho thấy độ sụt của cấp phối bê tông giảm lần lượt là 7,1 % và 14,3 % so với cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ không sử dụng cốt sợi vì khi tăng hàm lượng sợi làm cản trở chuyển động của vật liệu do đó làm giảm độ sụt của hỗn hợp bê tông tươi [8,9]. Từ đó, cho thấy tính công tác của bê tông cốt liệu nhẹ sử dụng sợi thép thấp hơn so với cấp phối bê tông nhẹ và bê tông đối chứng CNA.

Bảng 3. Độ sụt và khối lượng thể tích khô của bê tông.

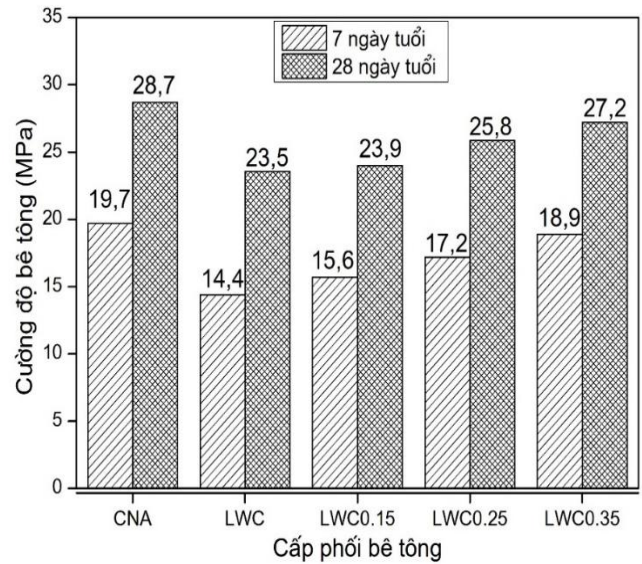
STT	Cấp phối	Hàm lượng sợi thép (kg)	Độ sụt (mm)	Khối lượng thể tích khô của bê tông (kg/m ³)
1	CNA	0	70	2321
2	LWC	0	70	1950
2	LWC0.15	11,78	70	1958
3	LWC0.25	19,63	65	1973
4	LWC0.35	27,48	60	1981

Qua kết quả Bảng 3 cho thấy khối lượng thể tích khô của các cấp phối bê tông nằm trong khoảng 1950-2321 kg/m³. Khối lượng thể tích khô của bê tông cốt liệu nhẹ giảm khoảng 13 - 15 % so với bê tông đối chứng CNA, nguyên nhân là do cốt liệu nhẹ có khối lượng riêng 2371 kg/m³ nhỏ hơn khối lượng riêng của đá 10x20 (2690 kg/m³) [6]. Bên cạnh đó, các trường hợp cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ thay thế đá 10x20 trong nghiên cứu có khối lượng thể tích khô với LWC, LWC0.15, LWC0.25 và LWC0.35 có giá trị lần lượt là 1950, 1958, 1973 và 1981 kg/m³ được xem là bê tông nhẹ [15], theo đó yêu cầu về khối lượng thể tích khô của bê tông dưới 2000 kg/m³.

3.2. Cường độ chịu nén

Hình 3 thể hiện cường độ chịu nén của bê tông sau 28 ngày tuổi. Cường độ chịu nén của bê tông tăng đều từ 7 ngày tuổi đến 28 ngày tuổi cho tất cả các cấp phối bê tông. Cường độ chịu nén bê tông đối chứng CNA cao hơn so với cường độ bê tông của các cấp phối còn lại. Cường độ chịu nén của tất cả các cấp phối bê tông ở 7 ngày tuổi và 28 ngày tuổi cho thấy khi thay thế đá 10x20 bằng cốt liệu nhẹ làm giảm 4 - 26 % cường độ chịu nén của bê tông, nguyên nhân do cốt liệu nhẹ có cấu trúc rỗng, xốp và độ hút nước cao (17,6 %) hơn so với đá 10x20 (0,34 %) dẫn đến làm giảm cường độ chịu nén của bê tông chịu nén [1,6].

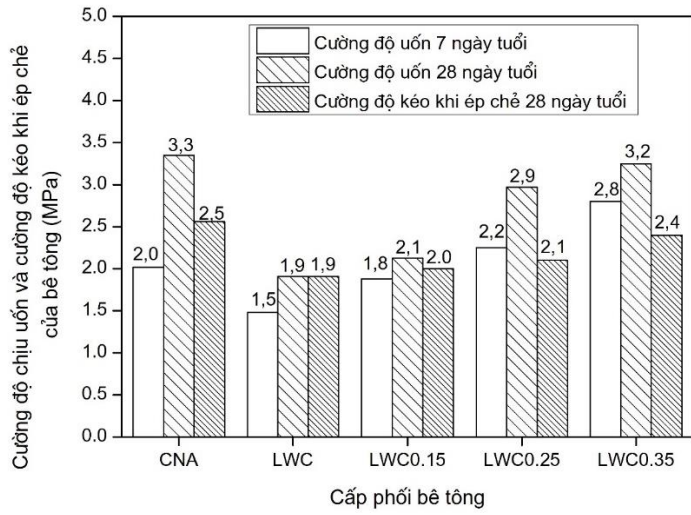
Cường độ chịu nén của bê tông cốt liệu nhẹ có xu hướng tăng khi hàm lượng cốt sợi tăng [8,9]. Cụ thể là khi sử dụng hàm lượng sợi thép tăng 0,15 %, 0,25 % và 0,35 % thì cường độ chịu nén tăng lần lượt là 1,7 %, 9,7 % và 17,8 % so với bê tông cốt liệu nhẹ ở cùng ngày tuổi kiểm tra. Bên cạnh đó, các trường hợp cấp phối bê tông sử dụng cốt liệu nhẹ đáp ứng được yêu cầu bê tông nhẹ về cường độ [16,17] theo đó bê tông nhẹ có cường độ chịu nén tối thiểu phải lớn hơn hoặc bằng 17,2 MPa ở 28 ngày tuổi.



Hình 3. Cường độ chịu nén của bê tông.

3.3. Cường độ kéo khi uốn và cường độ kéo khi ép chế

Hình 4 thể hiện cường độ chịu uốn của bê tông phát triển đều từ 7 ngày đến 28 ngày tuổi kiểm tra. Cường độ chịu uốn của cấp phối bê tông đối chứng cao hơn 3 - 30% so với các trường hợp cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ có và không có sử dụng cốt sợi. Các trường hợp cấp phối sử dụng cốt liệu nhẹ cho thấy khi tăng hàm lượng sợi thép làm tăng khả năng chịu uốn của bê tông cốt liệu nhẹ, cụ thể là khi hàm lượng sợi thép tăng từ 0.15%, 0.25% và 0.35% cho thấy cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông cốt liệu nhẹ tăng cao từ 11,5 - 70,1%. Cấp phối LWC0.35 khi sử dụng với hàm lượng sợi thép tăng đến 0.35% cho thấy khả năng chịu uốn của bê tông không chênh lệch nhiều với cấp phối CNA ở ngày tuổi thứ 28, điều này được giải thích là do sợi thép vào trong cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ làm tăng khả năng kéo uốn và độ bền dẻo của bê tông [8]. Đối với cường độ kéo khi ép chế của bê tông ở 28 ngày tuổi (Hình 4 và Hình 5) cho thấy cường độ kéo khi ép chế của bê tông đối chứng CNA cao hơn từ 8 - 24% so với bê tông nhẹ. Bên cạnh đó, các trường hợp cấp phối bê tông nhẹ cho thấy chiều hướng phát triển tương tự cường độ chịu uốn của bê tông với khi tăng hàm lượng thép làm tăng cường độ kéo khi ép chế của bê tông. Cụ thể là khi hàm lượng sợi thép trong cấp phối bê tông nhẹ tăng từ 0.15%, 0.25 và 0.35% thì cường độ kéo khi ép chế tăng lần lượt là 5,2%, 10,5% và 21,1% so với bê tông cốt liệu nhẹ không sợi. Riêng đối với cấp phối bê tông nhẹ khi sử dụng hàm lượng sợi thép lên đến 0.35% cho thấy cường độ kéo khi ép chế so với cấp phối bê tông đối chứng CNA không có sự chênh lệch nhiều.



Hình 4. Cường độ chịu uốn và cường độ kéo khi ép chèn của bê tông.

(c)



(a)



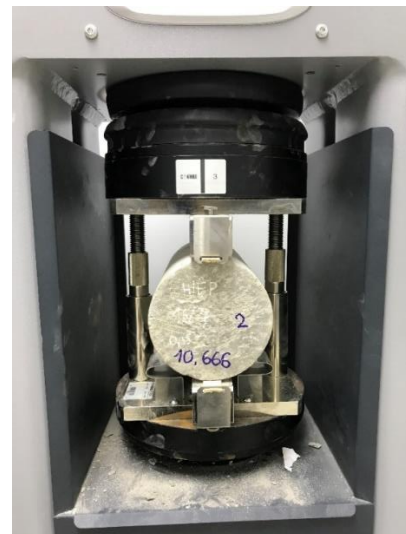
(d)



(b)



(e)

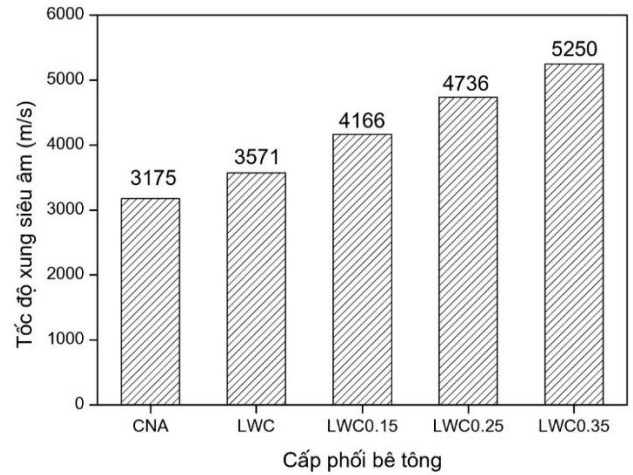


Hình 5. Cường độ ép chèn của bê tông.

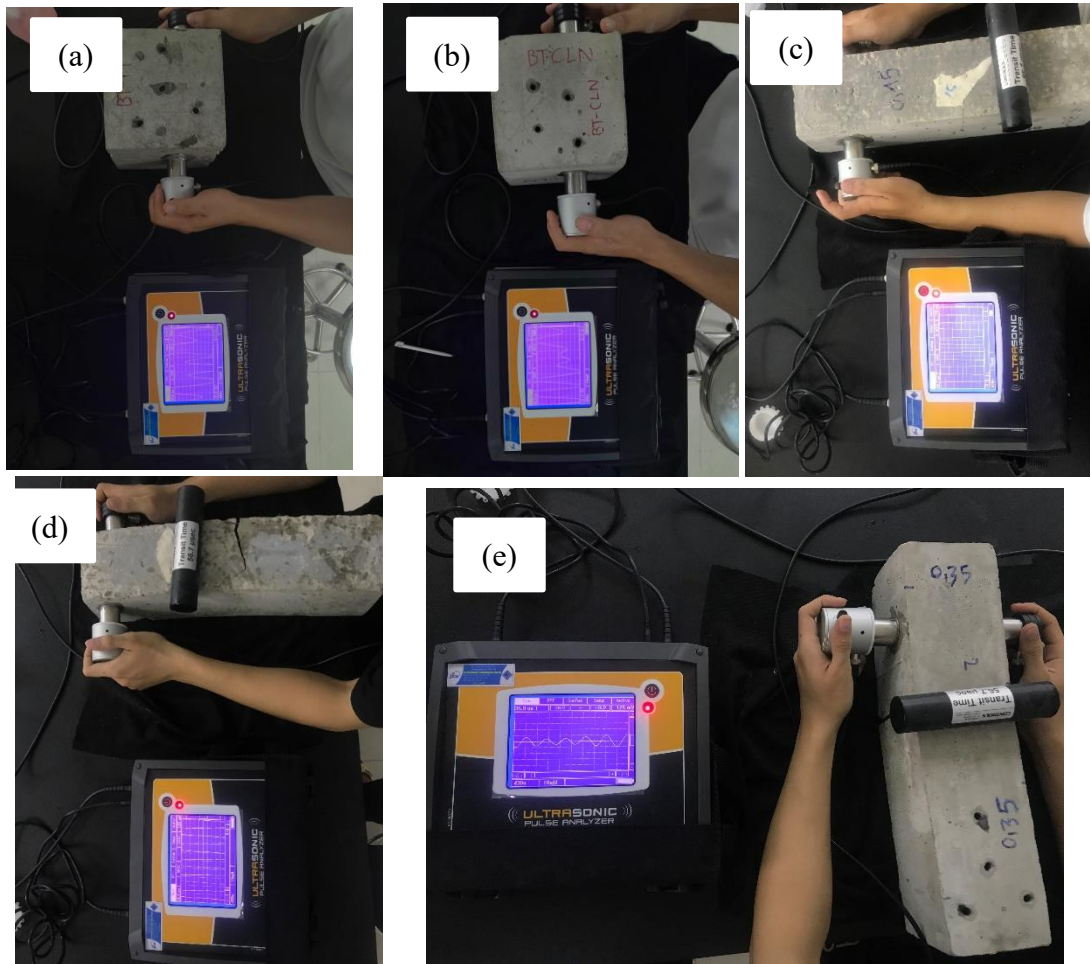
(a) CNA; (b) LWC; (c) LWC0.15; (d) LWC0.25; (e) LWC0.35.

3.4. Vận tốc xung siêu âm

Hình 6 và Hình 7 cho thấy kết quả vận tốc xung siêu âm của các cấp phối bê tông được sản xuất. Vận tốc xung siêu âm của cấp phối CNA thấp hơn từ 12 - 65% so với các cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ. Vận tốc xung siêu âm của cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ tăng khi hàm lượng sợi thép trong cấp phối tăng, với hàm lượng sợi thép trong cấp phối 0.15%, 0.25%, 0.35% thì vận tốc xung siêu âm tăng lần lượt là 16,6%, 32,6% và 47% so với cấp phối bê tông cốt liệu nhẹ không sử dụng sợi thép. Kết quả vận tốc xung siêu âm cũng cho thấy được chiều hướng tương tự ở thí nghiệm kiểm tra cường độ chịu nén của bê tông.



Hình 6. Tốc độ xung siêu âm của bê tông.



Hình 7. Vận tốc xung siêu âm

(a) CNA; (b) LWC; (c) LWC0.15; (d) LWC0.25; (e) LWC0.35

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này tác giả đã đánh giá được ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến một số tính chất của bê tông nhẹ như sau :

- Độ sụt các cấp phối bê tông nhẹ sử dụng sợi thép cho thấy chiều hướng giảm dần khi hàm lượng sợi thép tăng trong cấp phối bê tông nhẹ.
- Khối lượng thể tích khô của bê tông nhẹ giảm khoảng 13 - 15 % so với bê tông đối chứng CNA và được xem là bê tông nhẹ theo tiêu chuẩn EN 206-1: 2013 với yêu cầu khối lượng thể tích khô của bê tông dưới 2000 kg/m³.
- Cường độ chịu nén của bê tông phát triển đều từ 7 người tuổi đến 28 ngày tuổi cho tất cả các cấp phối bê tông. Các trường hợp cấp phối bê tông sử dụng cốt liệu nhẹ đáp ứng được yêu cầu bê tông nhẹ về cường độ chịu nén theo tiêu chuẩn ASTM C330/C330M-17a và ACI 318-11.
- Cường độ kéo khi chẻ của bê tông nhẹ cho thấy chiều hướng phát triển tương tự cường độ chịu uốn. Cấp phối bê tông nhẹ sử dụng sợi thép có cường độ kéo khi chẻ cao so với bê tông nhẹ không sử dụng sợi.
- Tốc độ xung siêu âm của các cấp phối bê tông nhẹ sử dụng sợi thép cho thấy chiều hướng tăng khi hàm lượng sợi thép tăng nằm trong từ 18,4 – 49,2 % so với cấp phối bê tông nhẹ không sử dụng sợi thép ở cùng độ tuổi kiểm tra.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bui Le Anh Tuan, Duong Hoang Bao Khanh, Nguyen Van Thanh, Huynh Trong Phuoc (2019). Research on the production of fly ash based-lightweight aggregate for concrete. *Vietnam Journal of Construction – Copyright Vietnam Ministry of Construction*, 610:151-153.
- [2]. Nguyễn Công Thắng, Hàn Ngọc Đức, Hoàng Tuấn Nghĩa (2018). Nghiên cứu thực nghiệm nâng cao một số tính chất của bê tông nhẹ cốt liệu rỗng. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 2:104-108.
- [3]. Tommy Yiu Lo, Hongzhi Cui, Shazim Ali Memon, Takafumi Noguchi (2016). Manufacturing of sintered lightweight aggregate using high-carbon fly ash and its effect on the mechanical properties and microstructure of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 112: 753-762.
- [4]. Chao-Lung Hwang and Vu-An Tran (2015). A study of the properties of foamed lightweight aggregate for self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 87:78-85.
- [5]. Jumah Musdif Their and Mustafa Özakça (2018). Developing geopolymer concrete by using cold-bonded fly ash aggregate, nano-silica, and steel fiber. *Construction and Building Materials*, 180:12-22.
- [6]. Bùi Lê Anh Tuấn, Nguyễn Văn Thanh, Hồng Minh Phúc (2022). Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ tự lên từ tro bay. *Tạp chí Vật liệu & Xây dựng*, Tập, 12 (01):40-47.
- [7]. Güneysi, E., Gesoğlu, M., Booya, E., & Mermerdaş, K. (2015). Strength and permeability properties of self-compacting concrete with cold bonded fly ash lightweight aggregate. *Construction and Building Materials*, 74, 17-24.
- [8]. Nguyễn Quang Phú, 2018. Nghiên cứu xác định hàm lượng thép hợp lý để chế tạo bê tông có khả năng chịu nén và uốn tốt, bền trong môi trường biển. *Tạp chí Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, số 61: 23-29.
- [9]. Nguyễn Tân Khoa (2017). *Nghiên cứu nâng cao chất lượng bê tông hạt mịn bằng cốt sợi thép hỗn hợp*. Luận văn tốt nghiệp thạc sĩ ngành Kỹ thuật Xây dựng dân dụng. Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật. TP. Hồ Chí Minh.
- [10]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 3106:1993. *Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt*.
- [11]. Tiêu chuẩn TCVN 3118:1993. *Bê tông nặng-Phương pháp xác định cường độ nén*.
- [12]. BS EN 12390-5:2009. *Testing hardened concrete - Part 5: Flexural strength of test Specimens*.
- [13]. BS EN 12390-6:2009. *Testing hardened Concrete - Part 6: Tensile splitting strength of test specimens*.
- [14]. BS EN 12504-4:2004. *Testing concrete - Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity*.
- [15]. EN 206-1: 2013. *Concrete. Specification, performance, production and conformity*.
- [16]. ASTM C330/C330M-17a (2017). *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [17]. ACI 318-11 (2011). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. ACI Committee 318.