

Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ tự lèn từ tro bay

Bùi Lê Anh Tuấn¹, Nguyễn Văn Thanh^{1*}, Hồng Minh Phúc²

¹ Bộ môn Kỹ thuật Xây dựng, Khoa Công Nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

² Sở Văn hóa, Thể thao và Du lịch Cần Thơ

TỪ KHOA

Tro bay
Phương pháp liên kết nguội
Bê tông nhẹ
Bê tông tự lèn
Cốt liệu nhẹ

TÓM TẮT

Nghiên cứu chế tạo cốt liệu nhẹ nhân tạo (LWA) từ nguồn vật liệu địa phương và tro bay từ nhà máy nhiệt điện tại khu vực Đồng bằng sông Cửu long (ĐBSCL) bằng phương pháp liên kết nguội. Qua các thử nghiệm cho thấy có thể sản xuất LWA từ tro bay có khối lượng thể tích thấp ($1,002 \text{ g/cm}^3$), độ hút nước của cốt liệu đạt 15,67 % cao hơn so với đá tự nhiên (5,21 %) và cường độ nén từng viên của LWA được sản xuất đạt 1,08 MPa với hàm lượng 8 % xi măng và LWA được ứng dụng vào thay thế 100% thể tích của đá dăm trong hỗn hợp bê tông tự lèn với các tỷ lệ w/c khác nhau. Kết quả cho thấy bê tông nhẹ tự lèn được sản xuất trong nghiên cứu có độ sụt cao nằm trong khoảng từ 250 mm đến 270 mm và đường kính chảy loang từ 550 mm đến 650 mm đạt yêu cầu về bê tông tự lèn theo tiêu chuẩn TCVN 12209:2018, khối lượng thể tích khô của bê tông sử dụng LWA nhỏ hơn 12 % đến 16 % so với các trường hợp cấp phối bê tông sử dụng đá tự nhiên. Độ hút nước thấp và cường độ đạt khoảng 90 % đến 97 % so với các cấp phối bê tông sử dụng đá tự nhiên và tất cả các cấp phối bê tông nhẹ tự lèn được sản xuất đạt tiêu chuẩn ASTM C330 và ACI 318. Qua các kết quả phân tích đánh giá tính chất của LWA và bê tông nhẹ tự lèn được sản xuất trong nghiên cứu có thể chứng minh được tiềm năng ứng dụng tro bay vào sản xuất LWA và ứng dụng vào chế tạo bê tông nhẹ tự lèn kết hợp với phụ gia khoáng (Fly ash, silica fume) thay thế xi măng trong nghiên cứu giúp cải thiện đáng kể được tính chất của bê tông.

KEYWORDS

Fly ash
Cold bonding method
Lightweight concrete
Self-compacting concrete
Lightweight aggregate

ABSTRACT

Research on manufacturing artificial lightweight aggregate (LWA) from local materials and fly ash from thermal power plants in the Mekong Delta region by cold-bonded method. Through tests showing that it is possible to produce lightweight aggregate from fly ash of unit weight ($1,002 \text{ g/cm}^3$), the water absorption of artificial aggregate reaches 15.67 % higher than natural stone (5.21 %) and compressive strength of LWA produced shows 1.08 MPa with a binder content of 8 % and artificial LWA applied to replace 100 % of the volume of crushed stone in SCC mixtures with different w/cm ratios. The results show that self-compacting lightweight concrete produced in the study has a high slump in the range of 250 mm to 270 mm and the sloping diameter from 550 mm to 650mm meets the requirement of self-compacting concrete according to Vietnamese standard 12209:2018, unit weight of self-compacting lightweight concrete with the ratio w/cm (0.23, 0.35 and 0.4) is 12 % to 16% smaller than the case of concrete mix using natural stone. Low water absorption and compressive strength approximately 90 % to 97 % compared to concrete mixes using natural stone and all lightweight concrete are manufactured to ASTM C330 and ACI 318 standards. The results of analysis and evaluation of properties of LWA and self-compacting lightweight concrete produced in the study, it is possible to demonstrate the potential of fly ash application in LWA production and self-compacting lightweight concrete manufacturing combined with mineral additives (Fly ash, silica fume) instead of cement in the study to significantly improve the properties of concrete.

1. Giới thiệu

Bê tông tự lèn (Self-compacting concrete – SCC) là loại bê tông mà ở trạng thái hỗn hợp có thể tự chảy và tự lèn chặt do khối lượng bản thân, có khả năng điền đầy khuôn kể cả khi có cốt thép dày đặc,... nhưng vẫn có thể duy trì được độ đồng nhất [1]. Khi đông

cứng SCC có nhiều tính chất tốt và ổn định như: độ đồng nhất và đặc chắc cao, cường độ cao, bê tông chống thấm tốt, v.v... Tuy nhiên, sản xuất bê tông lại đòi hỏi đầu vào đáng kể của các nguồn tài nguyên thiên nhiên như cát, đá. Đặc biệt là một phần lớn cốt liệu mịn khi sản xuất SCC. Ở nhiều nước đang phát triển, nhu cầu về xi măng, cát và đá tăng nhanh để phục vụ các công trình xây dựng, dẫn đến việc khai

*Liên hệ tác giả: thanhnguyen1997ct@gmail.com

Nhận ngày 11/10/2021, sửa xong ngày 04/11/2021, chấp nhận đăng 15/01/2022

<https://doi.org/10.54772/jomc.01.2022.256>

thác quá mức nguồn vật liệu tự nhiên tác động tiêu cực đến môi trường và làm cạn kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên.

Việc sử dụng vật liệu pozzolan (tro bay, xi lò cao) từ quá trình sản xuất của các nhà máy công nghiệp vào sản xuất bê tông là một giải pháp khả thi để giải quyết vấn đề khan hiếm vật liệu hiện nay. Tro bay (FA) là sản phẩm của quá trình đốt than từ các nhà máy nhiệt điện. FA có ưu điểm là tiết kiệm chi phí và trọng lượng riêng thấp thường được sử dụng làm vật liệu pozzolan trong quá trình sản xuất SCC [2][3]. Ngoài ra, việc sử dụng FA làm vật liệu chính để sản xuất LWA thay thế cốt liệu thô trong bê tông cũng thu hút được sự quan tâm của các nhà nghiên cứu [2][4] [5]. Ngày nay, qua nhiều nghiên cứu sản xuất LWA cho thấy có hai phương pháp chế tạo LWA là phương pháp nung [6] [7] [8] với tính chất cốt liệu được sản xuất có cường độ cao, khối lượng thể tích thấp và cách sản xuất đơn giản với nguồn nguyên liệu chế tạo chủ yếu là đá sét, á sét nên được ứng dụng khá phổ biến. Tuy nhiên với phương pháp này gây tiêu hao nguồn năng lượng lớn do sử dụng nhiệt độ cao để nung cốt liệu và nguồn nguyên liệu chủ yếu là đất làm tăng chi phí sản xuất và ảnh hưởng đến nguồn vật liệu tự nhiên, đặc biệt là trong quá trình sản xuất lượng nhiệt cao sẽ thải ra nhiều khí CO₂ gây tác động lớn đến môi trường. Phương pháp liên kết nguội [9] [10] [11] [12] phương pháp này khá phổ biến hiện nay với cốt liệu được sản xuất từ các nguồn vật liệu phế thải (tro bay, tro rác, xỉ, tro đáy) được chế tạo thông qua quá trình máy tạo viên với cốt liệu sản xuất được hình thành ở nhiệt độ phòng và có nhiều cách bảo dưỡng khác nhau không ảnh hưởng đến môi trường chỉ sử dụng một lượng nhỏ chất kết dính (xi măng portland PC hoặc PCB) nên tiết kiệm được chi phí sản xuất. Vì vậy, LWA được sản xuất bằng phương pháp liên kết nguội đáp ứng tốt hơn nhu cầu xây dựng bê tông về tính bền vững và thân thiện với môi trường.

Các nghiên cứu gần đây cho thấy khả năng làm việc và tính chất cơ học của bê tông nhẹ tự lên có hàm lượng chất kết dính cho phép từ 500 đến 650 kg/m³ với kết quả khối lượng thể tích của bê tông được sản xuất đạt 1650 kg/m³, lượng phụ gia siêu dẻo sử dụng thấp hơn so với bê tông thông thường. Khối lượng thể tích của bê tông nhẹ tự lên bằng 75 % so với SCC thông thường nhưng đạt cường độ nén tương tự, mô đun đàn hồi đạt 80 % so với bê tông thông thường [13]. Nghiên cứu sử dụng LWA sản xuất SCC với hydro peroxide (HP) làm chất tạo bọt và quy trình sản xuất LWA theo phương pháp liên kết nguội, một phương pháp sản xuất LWA ít gây ô nhiễm môi trường và tiết kiệm chi phí. LWA được sản xuất và xử lý bề mặt nhằm cải thiện tính chất của cốt liệu trước khi sử dụng vào chế tạo SCC. Tám loại LWA đã được sử dụng làm cốt liệu thô để sản xuất SCC. Các tính chất như độ linh động, khối lượng thể tích và cường độ của SCC được kiểm tra theo các tiêu chuẩn hiện hành. Kết quả cho thấy loại LWA có khối lượng riêng nhỏ nhất là hỗn hợp bao gồm 80 % tro bay (FA) và xi lò cao 20 % (GBFS) ở nồng độ HP là 7 %, khối lượng thể tích là 1270 kg/m³. Khả năng chảy loãng vượt qua tất cả các hỗn hợp SCC còn lại và đáp ứng các yêu cầu theo tiêu chuẩn quy định [14].

Nghiên cứu sản xuất LWA bằng phương pháp liên kết nguội gần đây cũng đã được ứng dụng vào sản xuất SCC. Theo Baykal và Döven [15] sản xuất LWA ứng dụng vào sản xuất SCC với LWA được sản xuất bằng tro bay có khối thể tích lần lượt là 1500 và 1850 kg/m³ và SCC sử dụng LWA có cường độ nén tối đa là 33 MPa ở 28 tuổi ngày. Đặc biệt, SCC được sản xuất từ LWA đã cho thấy độ linh động tốt và có độ bền cao hơn so với bê tông đối chứng. Ngoài ra, hình dạng hình cầu của LWA được sản xuất theo phương pháp liên kết nguội làm cho khả năng tự chảy của SCC cao hơn và việc tăng hàm lượng LWA sẽ làm giảm lượng phụ gia siêu dẻo (SP) sử dụng trong cấp phối bê tông [14] [15] [16]. Hơn nữa, việc kết hợp các phụ gia khoáng như tro bay và silica fume đã được chứng minh là cải thiện đáng kể đặc tính của SCC [17].

Qua quá trình nghiên cứu, có thể thấy được việc nghiên cứu sử dụng LWA để chế tạo SCC ở khu vực ĐBSCL là rất hạn chế. Đặc biệt là sử dụng LWA thay thế được đá trong bê tông và sử dụng phế phẩm công nghiệp là tro bay sản xuất LWA từ đó giảm thiểu ô nhiễm môi trường, giúp bảo vệ được tài nguyên thiên nhiên. Bên cạnh đó, việc nghiên cứu ứng dụng LWA được sản xuất từ tro bay vào ứng dụng SCC là rất cần thiết có hiệu quả về kinh tế và rất tiềm năng khi ứng dụng vào sản xuất bê tông trong xây dựng, đặc biệt là các công trình Thủy lợi. Bê tông nhẹ tự lên được sản xuất có tính chất của bê tông nhẹ về trọng lượng giảm so với bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên mà còn đảm bảo về các tính năng như độ bền kéo, nén, độ chống thấm nước cao, ít hấp thụ nước và độ ăn mòn sunfat thấp đáp ứng đầy đủ các tiêu chuẩn về SCC theo tiêu chuẩn hiện hành.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu và cấp phối của cốt liệu nhẹ

Bảng 1. Tính chất của vật liệu sản xuất cốt liệu và SCC.

Vật liệu	Khối lượng riêng (g/cm ³)	Khối lượng thể tích (kg/m ³)	Độ hút nước (%)
Đá dăm	2,820	1296	5,48
Cát nghiền (CN)	2,810	1609	2,95
Xi măng	3,087	-	-
FA	2,224	-	-
SF	2,000	-	-

LWA trong nghiên cứu được sản xuất từ nguồn nguyên liệu chính là tro bay (khối lượng riêng - KLR 2,224 g/cm³) từ nhà máy nhiệt điện than Duyên Hải - Trà Vinh, xi măng PC40 (KLR 3,087 g/cm³) được sử dụng làm chất kết dính trong cấp phối của cốt liệu nhẹ. Đá dăm có kích cỡ hạt 5 – 10 mm, cát nghiền có mô đun độ lớn là 1,33 với khối lượng riêng và khối lượng thể tích xấp xỉ của đá dăm và cát nghiền được cho ở Bảng 1. Phụ gia siêu dẻo sử dụng trong nghiên cứu là viscocrete 151 được cung cấp từ các đại lý ở địa phương của Công ty Sika Hữu Hạn Việt Nam.



Hình 1. Vật liệu sản xuất cốt liệu nhẹ: (a) Xi măng và (b) Tro bay.

2.2. Quy trình sản xuất cốt liệu nhẹ

Nguồn vật liệu được chọn để sản xuất cốt liệu trong nghiên cứu này là tro bay lấy từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải I (Trà Vinh), xi măng được sử dụng là xi măng PC40 và nước máy với quy trình sản xuất cốt liệu theo nghiên cứu Bui Le Anh Tuan et al (2019) với máy tạo viên có đường kính 100 cm và chiều sâu 20 cm, máy được thiết lập tốc độ quay 55 vòng/phút với góc nghiêng 37° được giữ cố định trong suốt quá trình tạo viên. Mỗi lần sản xuất LWA là 5 kg hỗn hợp cốt liệu tro bay/xi măng với tỷ lệ cố định là 9,2/0,8 theo khối lượng và nước được sử dụng chiếm 25 % đến 35 % hỗn hợp cốt liệu.



Hình 2. Máy sản xuất cốt liệu nhẹ.

2.3. Phương pháp thí nghiệm cốt liệu nhẹ

Cốt liệu được xác định thành phần hạt theo tiêu chuẩn TCVN 7572-4:2006 “Cốt liệu cho bê tông và vữa Phương pháp thử - Phần 4: Xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích và độ hút nước” [18].

Cốt liệu được xác định thành phần hạt theo tiêu chuẩn TCVN 7572-2:2006 “Cốt liệu cho bê tông và vữa-Yêu cầu kỹ thuật-Phần 2: Xác định thành phần hạt” [19].

Cường độ nén từng viên của cốt liệu được kiểm tra theo phương pháp N. U Kockal and T. Ozturan [20], bằng cách xác định lực phá hủy của từng viên cốt liệu riêng lẻ. Mỗi loại cốt liệu được tiến hành thí nghiệm với tổ mẫu gồm 20 viên với công thức xác định $RCL = (2,8 \times P) / (3,14 \times D^2)$ Trong đó: RCL là cường độ nén từng viên (MPa); P là lực phá hủy (N); D là đường kính của viên (mm).

Cường độ nén đập trong xi lanh của cốt liệu được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 7572-11:2006 “Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử - Phần 11: Xác định độ nén đập và hệ số hoá mềm của cốt liệu lớn” [21].

Độ hút nước của cốt liệu được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 7572-4:2006 “Cốt liệu cho bê tông và vữa Phương pháp thử-Phần 4: Xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích và độ hút nước”[18].

2.4. Sản xuất bê tông nhẹ từ lên

LWA sau khi được bảo dưỡng được tiến hành thay thế 100% khối lượng của cốt liệu thô đá dăm (5-10) mm trong cấp phối SCC với nhiều tỷ lệ w/c khác nhau nhằm đánh giá các đặc tính của LWA. Ngoài ra, LWA được sản xuất bằng tro bay kết hợp xi măng với tỷ lệ cố định (0,92/0,08) có dạng hình cầu và màu xám với bề mặt trơn nhẵn được thể hiện ở Hình 3.



Hình 3. LWA được sản xuất.

2.4.1 Vật liệu và cấp phối bê tông nhẹ từ lên

Các loại vật liệu sản xuất bê tông nhẹ tự lên bao gồm đá dăm (KLR 2,82 g/cm³ và độ hút nước 5,48 %), cát nghiền (mô đun độ lớn 1,33, KLR 2,81 g/cm³ và độ hút nước 2,95 %), xi măng PC40 (KLR 3,087 g/cm³), SF (KLR 2,0 g/cm³) và FA (KLR 2,224 g/cm³). Nước trộn là nước máy tại nơi làm thí nghiệm.

2.4.2 Cấp phối của bê tông nhẹ tự lên

Nghiên cứu sử dụng phương pháp DMDA [22] để tính cấp phối cho bê tông nhẹ từ lên với ba tỷ lệ w/c “nước/ (xi măng + SF)” lần lượt là 0,23; 0,35 và 0,4 cho từng thành phần vật liệu của hỗn hợp bê tông. Cấp phối đối chứng là cấp phối sử dụng đá dăm. Ở các cấp phối dùng LWA, đá dăm được thay thế hoàn toàn bằng LWA theo nguyên tắc thể tích không thay đổi. Thành phần vật liệu trong các cấp phối bê tông được liệt kê trong Bảng 3. Do đặc tính hút nước cao của LWA, LWA được ngâm trong nước máy trong 3 giờ trước khi đổ bê tông.

Bảng 2. Cấp phối của bê tông.

Cấp phối	w/c	n (hệ số dư vữa)	Khối lượng vật liệu (kg/m ³)						
			SF	Đá dăm	LWA	CN	FA	XM	Nước
CP1	0,23	1,30	91,4	826	-	861	79	518	137
CP1CL				-	459	861	79	518	137
CP2	0,35		73,2	826	-	861	79	417	171
CP2CL				-	495	861	79	417	171
CP3	0,4		67,6	826	-	861	79	383	180
CP3CL				-	495	861	79	383	180

2.4.3 Các tính chất của bê tông nhẹ tự lên

Sau khi thiết kế cấp phối cho bê tông thực hiện đổ mẫu và bảo dưỡng theo [23] và kiểm tra các tính chất của bê tông bao gồm: tính công tác [1], khối lượng thể tích khô của bê tông [24], cường độ nén [25], và độ hút nước [26].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Tính chất của cốt liệu nhẹ

Sau 28 ngày bảo dưỡng, cốt liệu được rây qua rây sàng 5 mm để sử dụng và kiểm tra các tính chất của cốt liệu như khối lượng thể tích xốp, thành phần hạt, cường độ nén từng viên và độ hút nước với kết quả được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Tính chất cơ lý của cốt liệu nhẹ.

STT	Tính chất của cốt liệu	Giá trị
1	Khối lượng riêng (g/cm ³)	1,586
2	Khối lượng thể tích xốp (kg/m ³)	1002
3	Khối lượng thể tích lên chặt (kg/m ³)	1023
4	Khối lượng thể tích bão hòa (kg/m ³)	1426
5	Khối lượng thể tích khô (kg/m ³)	1153
6	Độ hút nước (%)	15,67
7	Cường độ nén từng viên (MPa)	1,029
8	Độ nén dập trong xilanh (%)	15,67

3.1.1. Khối lượng thể tích và khối lượng riêng

Các giá trị về khối lượng thể tích được thể hiện ở Bảng 3. bao gồm: Khối lượng thể tích bão hòa (1426 kg/m³), khối lượng thể tích khô (1153,3 kg/m³), khối lượng thể tích lên chặt (1023 kg/m³) nhỏ hơn ~23 % so với cốt liệu tự nhiên (đá dăm), đặc biệt là khối lượng thể tích xốp của LWA được sản xuất đạt 1002 kg/m³ nhỏ hơn 2000 kg/m³, cho nên cốt liệu được sản xuất trong nghiên cứu xem là LWA [27].

3.1.2. Thành phần hạt

Từ Bảng 4 cho thấy thành phần hạt của cốt liệu tập trung chủ yếu ở hai rây sàng là 5 mm và 10 mm với hơn 76 % lượng sót trên sàng 5 mm và LWA được sản xuất có tỷ lệ sót sàng 10 mm nhỏ hơn 15 % đạt yêu cầu sử dụng cốt liệu theo tiêu chuẩn [28].

Bảng 4. Thành phần hạt đại diện của cốt liệu nhẹ.

Mắt sàng	Lượng sót trên sàn (%)	Lượng sót tích lũy trên sàng %
31,50	0,00	0,00
25,00	0,00	0,00
20,00	0,00	0,00
16,00	0,11	0,00
10,00	23,78	23,78
5,00	76,00	99,78
đáy rây	0,22	100,00

3.1.3. Cường độ và độ hút nước



(a)



(b)

Hình 4. Nén cốt liệu: (a) Cốt liệu trên máy nén; (b) Máy nén đơn trực.

Từ kết quả Bảng 3 cường độ nén từng viên của LWA cho thấy với hàm lượng chất kết dính (xi măng) chiếm 8 % trong hỗn hợp cấp phối của cốt liệu đạt 1,08 MPa, phần trăm nén dập trong xi lanh 15,67 % thỏa mãn yêu cầu về độ nén dập của cốt liệu sử dụng cho bê tông [28] với yêu cầu độ nén dập của bê tông ở trạng thái bão hòa không lớn hơn 16 % và để tăng khả năng ứng dụng của cốt liệu

nhẹ, được thay thế 100 % khối lượng thể tích của đá dăm trong hỗn hợp bê tông nhẹ tự lèn được sản xuất theo từng tỷ lệ w/cm khác nhau. Kết quả độ hút nước của cốt liệu được thể hiện ở Bảng 3 cho thấy độ hút nước của LWA đạt 15,67 % cao hơn so với cốt liệu lớn đá dăm (5,21%).

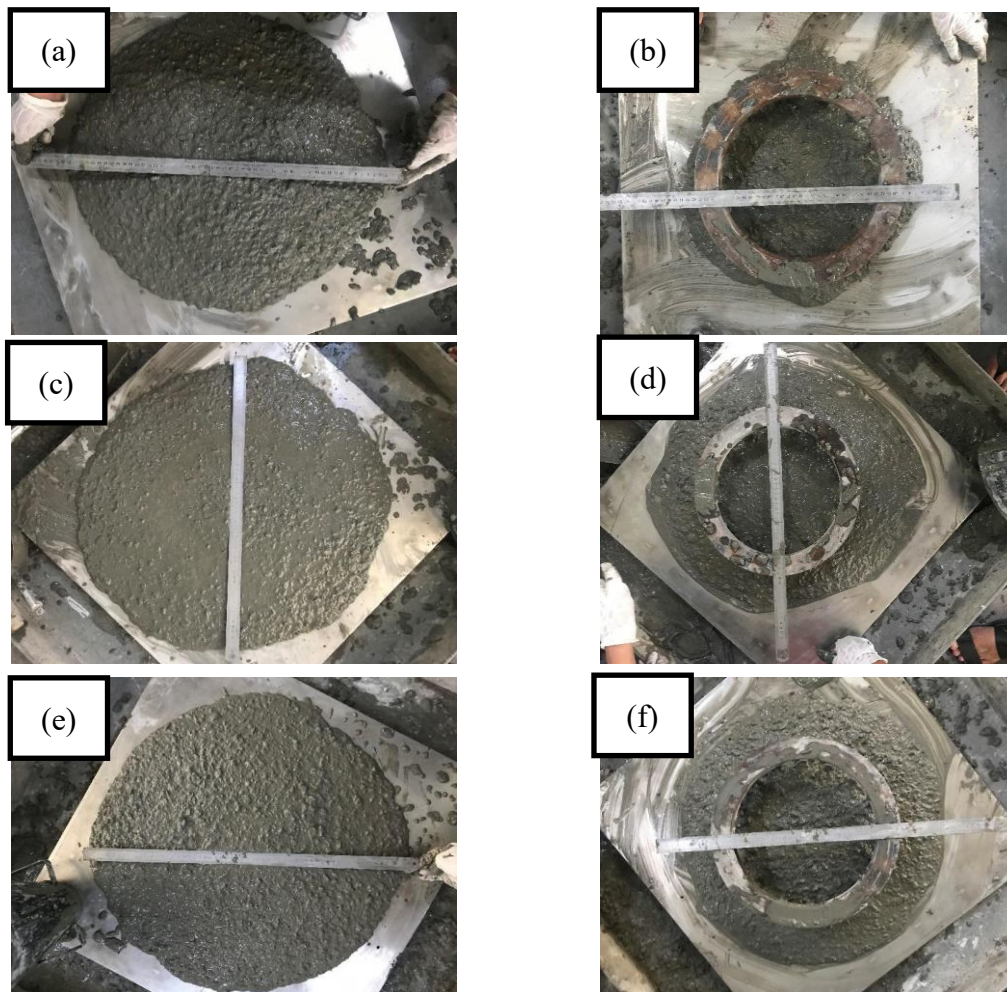
3.2. Tính chất của bê tông nhẹ tự lèn

3.2.1. Độ linh động

Kết quả độ linh động của bê tông được kiểm tra với các tiêu chí bao gồm: độ chảy loang, khả năng chảy qua vòng chữ J (SJ) được thể hiện ở Bảng 5 với hình ảnh được thể hiện ở Hình 5 và Bảng 5.

Qua kết quả độ linh động Bảng 5 cho thấy độ sụt của các trường hợp cấp phối nằm trong khoảng từ 250 mm đến 270 mm, đạt yêu cầu về độ sụt cho hỗn hợp bê tông công trình thủy lớn hơn 15 cm [23], độ sụt cao nhất nằm ở cấp phối CP2 (275 mm) và độ sụt thấp nhất ở cấp phối CP3CL (250 mm). Nguyên nhân được giải thích cho độ sụt cao của

bê tông là cốt liệu nhẹ có bề mặt trơn nhẵn, tỉ diện nhỏ hơn cần nước ít hơn làm tăng độ linh động của bê tông [17] và khi sử dụng SP giúp hỗn hợp bê tông tươi đảm bảo tính công tác, không bị phân tầng, tách nước và tăng khả năng chảy của bê tông [16]. Độ chảy loang của bê tông được xét ở các trường hợp cấp phối cho kết quả đường kính chảy loang khoảng 555 mm đến 605 mm với đường kính chảy loang cao nhất là cấp phối CP3 (605 mm) với thời gian t500 là 10,9s và đường kính chảy loang thấp nhất là cấp phối CP3CL (555 mm) với thời gian t500 là 3s. Ngoài ra, trong các trường hợp cấp phối sử dụng LWA đều có đường kính thấp hơn so với bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên cụ thể là CP1CL 560 mm < 590 mm CP1; CP2CL 575 mm < CP2 585 mm và CP3CL605 mm < CP3 555 mm lý do được giải thích là do LWA có độ hút nước (15,67 %) cao hơn so với đá dăm (5,28 %) nên làm giảm khả năng chảy của hỗn hợp bê tông tươi. Tuy nhiên, tất cả các trường hợp cấp phối sản xuất ra đều thỏa yêu cầu về độ chảy loang của SCC [24] ở mức 1 với SF1 có đường kính chảy từ 550 mm đến 650 mm và thời gian chảy t500 đạt yêu cầu ở mức VS2 với thời gian chảy lớn hơn 2s.



Hình 5. Thí nghiệm động linh động (đường kính chảy loang và đường kính chảy qua vòng J) của bê tông: (a) và (b) CP1; (c) và (d) CP2; (e) và (f) CP3 .

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm độ linh động của bê tông.

Cấp phối	Hàm lượng SP (kg/m ³)	Độ chảy loãng (SF)			Chảy qua vòng J (SJ)	
		Độ sụt (mm)	Đường kính (mm)	T500 (s)	Đường kính (mm)	T500 (s)
CP1	12,83	265	580	7	440	8
CP1CL		265	560	4,3	525	1,3
CP2	10,41	275	585	8,2	540	10
CP2CL		270	575	6	500	6,3
CP3	9,72	270	605	10,9	580	7
CP3CL		250	555	3	430	6,7

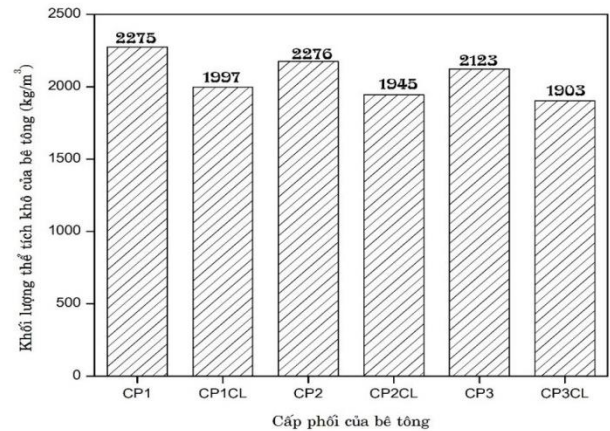
Bên cạnh đó động linh động của bê tông được sản xuất còn được xét đến khả năng chảy của hỗn hợp bê tông tươi khi có cốt thép ở thí nghiệm khả năng chảy qua vòng J với thiết kế tiêu chuẩn vòng JP2 có 16 thanh thép và kết kết quả được thể hiện ở Bảng 4. Đường kính của các trường hợp cấp phối nằm trong khoảng từ 440-580mm và thời gian chảy t500 nằm trong khoảng 1,3-10s với cấp phối CP3 có đường kính lớn nhất là 580 mm với thời gian chảy 7s và cấp phối CP3CL có đường kính nhỏ nhất chỉ 430 mm và thời gian chảy 6,7s. Tuy nhiên, khả năng chảy của các trường hợp cấp phối được sản xuất trong nghiên cứu đều đạt yêu cầu cho SCC [1] với thời gian quy định chảy qua vòng J ở T500 không lớn hơn 10s. Qua các kết quả phân tích đánh giá độ linh động của bê tông được sản xuất trong nghiên cứu có thể kết luận tất cả các trường hợp cấp phối đều được xem là SCC [1] với bê tông được quy định là bê tông chảy, có thể ứng dụng vào các kết cấu bê tông ít cốt thép có khe hở từ 80mm đến 100 mm như các cấu kiện sàn và các cấu kiện dạng thẳng đứng.

Bê tông cốt liệu nhẹ trong nghiên cứu có độ sụt cao với thời gian chảy đáp ứng được yêu cầu về SCC [1], không bị phân tầng, độ dẻo tốt. Đặc biệt là bê tông nhẹ tự lèn đạt yêu cầu thiết kế về độ sụt theo tiêu chuẩn bê tông thủy công [30].

3.2.2. Khối lượng thể tích của khô bê tông

Qua kết quả Hình 6 cho thấy khối lượng thể tích khô của bê tông được sản xuất với ba tỷ lệ w/cm (0,23; 0,35 và 0,4) nằm trong khoảng 1903 đến 2275 kg/m³. Các trường hợp cấp phối sử dụng LW thay thế đá tự nhiên trong nghiên cứu có khối lượng thể tích khô ứng với CP1CL, CP2CL và CL3CL có giá trị lần lượt là 1997, 1945 và 1903 kg/m³ được xem là bê tông nhẹ [31] về khối lượng thể tích khô dưới 2000 kg/m³. Bên cạnh đó SCC được sản xuất trong nghiên cứu có khối lượng thể tích khô giảm khoảng 12 đến 16 % so với bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên nguyên nhân là do LWA có khối lượng riêng 1585,9 kg/m³ nhỏ hơn khối lượng riêng của đá mi (KLR 2851 kg/m³) và khối lượng thể tích khô của bê tông tỷ lệ nghịch với w/cm khi tăng tỷ lệ w/cm từ 0,23 lên 0,4 thì khối lượng thể tích giảm 5 % ở các cấp phối sử dụng LWA và giảm 6,6% ở cấp phối sử dụng đá tự nhiên. Qua kết

quả phân tích cho thấy khi thay đá mibăng cốt liệu trong hỗn hợp cấp phối của bê tông giúp giảm khối lượng của bê tông đáng kể và tỷ lệ w/cm tỷ lệ nghịch với khối lượng thể tích khô của bê tông.



Hình 6. Khối lượng thể tích khô của bê tông.

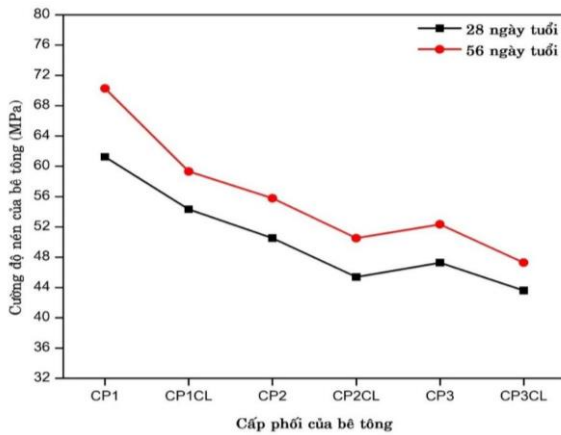
3.2.3. Cường độ nén của bê tông

Từ Hình 7 cho thấy các cấp phối bê tông CP1, CP1CL, CP2, CP2CL, CP3 và CP3CL có cường độ ở 28 ngày tuổi nằm trong khoảng từ 43,6 MPa đến 61,24 MPa và cường độ của các trường hợp bê tông ở 56 ngày tuổi được kiểm chứng là vẫn tiếp tục phát triển với cường độ của tất cả các trường hợp cấp phối nằm trong khoảng 47,23 MPa đến 70,29 MPa. Kết quả thí nghiệm còn cho thấy cường độ của bê tông tỷ lệ nghịch với tỷ lệ w/c.

Ngoài ra, từ Hình 7 cho thấy đối với bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên CP1, CP2 và CP3 có cường độ ở 28 ngày tuổi lần lượt là 61,24; 50,51 và 47,28 MPa cao hơn so với các trường hợp cấp phối sử dụng LWA ở các cấp phối CP1CL, CP2CL và CP3CL có cường độ lần lượt là 59,33; 45,37 và 43,6MPa đạt khoảng 90 % đến 97 % so với các cấp phối SCC thông thường. Bên cạnh đó, các trường hợp cấp phối bê tông nhẹ tự lèn được sản xuất có cường độ lớn hơn 43,6 MPa đạt yêu cầu về cường độ [32] [33] , theo đó yêu cầu bê tông nhẹ có cường độ chịu nén tối thiểu phải lớn hơn hoặc bằng 17,2 MPa ở 28 ngày tuổi.

Từ Hình 7 cho thấy đối với các trường hợp cấp phối bê tông phát triển đều và tăng theo thời gian từ 28 đến 56 ngày tuổi. Điều này cho thấy khi sử dụng tro bay giúp cải thiện cường độ của bê tông ở những ngày tuổi muộn mà làm giảm cường độ ở ngày tuổi sớm. Tuy nhiên do trong cấp phối bê tông sử dụng 15 % SF giúp tăng cường độ ở ngày tuổi sớm. Silica fume và tro bay trong cấp phối bê tông tương hỗ nhau giúp phát triển cường độ của bê tông.

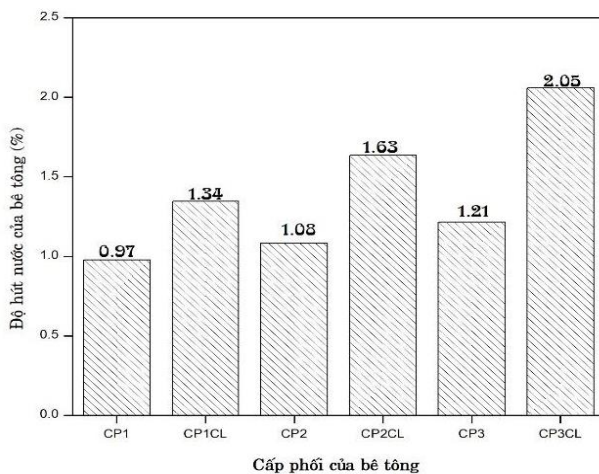
Từ những kết quả phân tích trên cho thấy bê tông nhẹ tự lèn được sản xuất đáp ứng được yêu cầu về cường độ cho bê tông nhẹ [32] [33] . Ngoài ra, việc sử dụng tro bay và muối silic kết hợp trong hỗn hợp bê tông giúp đảm bảo được sự phát triển về cường độ của bê tông, đặc biệt là khi thay thế LWA trong thành phần bê tông đối chứng cho thấy cường độ không chênh lệch.



Hình 7. Cường độ nén của bê tông.

3.2.4. Độ hút nước

Qua kết quả từ Hình 8 cho thấy độ hút nước của các trường hợp cấp phối bê tông được sản xuất chênh lệch không đáng kể nằm trong khoảng từ 0,97 % đến 2,05 % nguyên nhân là do SF có khả năng lấp đầy lỗ rỗng của bê tông làm giảm độ thấm thấu nước giúp bê tông tăng khả năng chống thấm nước [34]. Đối với bê tông nhẹ tự lèn trong nghiên cứu có độ hút nước cao hơn so với bê tông thông thường lý do vì độ hút nước của LWA (15,67 %) cao hơn so với đá mi (5,02 %) vì thế độ hút nước của bê tông nhẹ tự lèn cao hơn so với SCC. Đối với cấp phối sử dụng LWA có độ hút nước cao nhất là cấp phối CP3 với 2,05 % và thấp nhất là 1,34 %. Bên cạnh đó đối cấp phối đối chứng có độ hút nước cao nhất là cấp phối CP3CL (1,21%) và thấp nhất là cấp phối CP1CL (0,97 %). Qua phân tích các kết quả cho thấy khi sử dụng SF với hàm lượng 15% cho thấy độ hút nước của bê tông được sản xuất thấp và chênh lệch không đáng kể khi thay đổi tỷ lệ w/cm.



Hình 8. Độ hút nước của bê tông.

4. Kết luận

Cốt liệu nhẹ có thể sản xuất từ nguồn vật liệu phế phẩm (tro bay) từ các nhà máy công nghiệp - Nhà máy nhiệt điện Duyên Hải I (Trà Vinh), theo phương pháp liên kết nguội ứng dụng vào chế tạo bê tông nhẹ tự lèn với các kết quả từ LWA cũng như bê tông nhẹ tự lèn được thể hiện như sau:

Khối lượng thể tích xốp của LWA được sản xuất từ tro bay kết hợp với xi măng (0,92/0,08) đạt 1002 kg/m³ nhỏ hơn 2000 kg/m³ thỏa yêu cầu tiêu chuẩn LWA UNE-EN-13055-1:2003.

Kết quả độ hút nước của cốt liệu đạt 15,67 % cao hơn so với cốt liệu lớn đá dăm (5,21 %). Đối với cường độ nén từng viên của LWA được sản xuất đạt 1,08 MPa và LWA được ứng dụng vào thay thế 100 % phần thể tích của đá dăm trong hỗn hợp SCC với các tỷ lệ w/cm khác nhau.

Bê tông nhẹ tự lèn được sản xuất trong nghiên cứu có độ sụt cao nằm trong khoảng từ 250 mm đến 270 mm. Độ chảy loang của bê tông có đường kính từ 555 mm đến 605 mm và khả năng chảy qua vòng J với đường kính các trường hợp cấp phối đạt từ 440 mm đến 580 mm với thời gian chảy T500 trong khoảng không vượt quá 10s đạt yêu cầu theo tiêu chuẩn SCC TCVN 12209:2018.

Khối lượng thể tích khô của bê tông nằm trong khoảng 1,903 đến 1,997 g/cm³ nhỏ hơn từ 12 đến 16 % so với các trường hợp cấp phối bê tông sử dụng đá tự nhiên và tất cả các trường hợp cấp phối bê tông sử dụng LWA được xem là bê tông nhẹ EN 206-1: 2013.

Cường độ của các cấp phối sử dụng LWA đạt khoảng 90 % đến 97 % so với các cấp phối bê tông sử dụng đá tự nhiên với tất cả các cấp phối bê tông nhẹ tự lèn được xem là bê tông nhẹ ASTM C330 và ACI 318-11. Ngoài ra, trong nghiên cứu sử dụng tro bay và silicafume làm thành phần phụ gia khoáng trong hỗn hợp bê tông giúp cải thiện tính chất của bê tông, đặc biệt là khi thay thế LWA trong thành phần bê tông đối chứng cho thấy cường độ không chênh lệch đáng kể.

Qua các kết quả phân tích đánh giá tính chất của LWA và bê tông nhẹ tự lèn được chế tạo trong nghiên cứu có thể chứng minh được tiềm năng ứng dụng tro bay vào sản xuất LWA (hàm lượng tro bay sử dụng trong cốt liệu chiếm 92 % khối lượng của cấp phối cốt liệu) và ứng dụng vào chế tạo bê tông nhẹ tự lèn đáp ứng được một số yêu cầu tiêu chuẩn về SCC và bê tông nhẹ.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Tiêu chuẩn TCVN 12209-2018 “Bê tông tự lèn - yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử”.
- [2]. Chao-Lung Hwang, Le Anh-Tuan Bui, Kae-Long Lin, Chun-Ting Lo. Manufacture and performance of lightweight aggregate from municipal solid waste incinerator fly ash and reservoir sediment for self-consolidating lightweight concrete. Cement & Concrete Composi.
- [3]. B. Mahalingama, K. Nagamani, L.S. Kannan, K. Mohammed Haneefa, A. Bahurudeen. Assessment of hardened characteristics of raw fly ash blended self-compacting concrete. ScienceDirect, 8:709-711, 2016..
- [4]. Bui LA-T, Hwang C-L, Chen C-T, Lin K-L, Hsieh M-Y. Manufacture and performance of cold bonded lightweight aggregate using alkaline activators for high performance concrete. Constr Build Mater, 35:1056–62, 2012..

- [5]. Gesog̃lu M, Özturan T, Güneyisi E. Effects of fly ash properties on characteristics of cold-bonded fly ash lightweight aggregates. *Constr Build Mater*, 21(9):1869–78, 2007..
- [6]. Nguyễn Công Thắng, Hàn Ngọc Đức, Hoàng Tuấn Nghĩa. 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, 2018..
- [7]. Tommy Yiu Lo, Hongzhi Cui, Shazim Ali Memon, Takafumi Noguchi. Manufacturing of sintered lightweight aggregate using high-carbonfly ash and its effect on the mechanical properties and microstructure of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 112: 753-762.
- [8]. Hoàng Minh Đức. Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ cách nhiệt kết cấu sử dụng hạt polystyrol xốp nở. *Tạp chí KHCN Xây dựng*, số 4/2017..
- [9]. Javad Nodeh Farahani, Payam Shafigh, Hilmi Bin Mahmud. Production of A Green Lightweight Aggregate Concrete by Incorporating High Volume Locally Available Waste Materials. *ScienceDirect*, 184:778-783, 2017..
- [10]. P. Gomathi, A. Sivakumar. Accelerated curing effects on the mechanical performance of cold bonded and sintered fly ash aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 77:276-278, 2015.
- [11]. Erman Yiğit Tuncel and Bekir Yılmaz Pekmezci. A sustainable cold bonded lightweight PCM aggregate production: Its effects on concrete properties. *Construction and Building Materials*, 181: 199–216, 2018..
- [12]. Jumah Musdif Their and Mustafa Özakça. Developing geopolymers concrete by using cold-bonded fly ash aggregate, nano-silica, and steel fiber. *Construction and Building Materials*, 180:12-22, 2018..
- [13]. Tommy Yiu Lo, Hongzhi Cui, Shazim Ali Memon, Takafumi Noguchi. Manufacturing of sintered lightweight aggregate using high-carbonfly ash and its effect on the mechanical properties and microstructure of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 112: 753-762.
- [14]. Chao-Lung Hwang and Vu-An Tran. A study of the properties of foamed lightweight aggregate for self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 87:78-85, 2015..
- [15]. Baykal G, Döven AG. Utilization of fly ash by pelletization process; theory, application areas and research results. *Resour Conserv Recycl*, 30(1):59–77, 2000..
- [16]. Güneyisi E, Gesog̃lu M, Booya E. Fresh properties of self-compacting cold bonded fly ash lightweight aggregate concrete with different mineral admixtures. *Mater Struct*, 45:1849–59, 2012..
- [17]. Gesog̃lu M, Güneyisi E, Özturan T, Öz HÖ, Asaad DS. Self-consolidating characteristics of concrete composites including rounded fine and coarse fly ash lightweight aggregates. *Compos B Eng*, 60:757–632014.
- [18]. Tiêu chuẩn TCVN 7572-4:2006 “Cốt liệu cho bê tông và vữa Phương pháp thử - Phần 4: Xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích và độ hút nước”.
- [19]. Tiêu chuẩn TCVN 7572-2:2006 “Cốt liệu cho bê tông và vữa-Yêu cầu kỹ thuật-Phần 2: Xác định thành phần hạt”.
- [20]. Niyazi Ugur Kockala and Turan Ozturan. Effects of lightweight fly ash aggregate properties on the behavior of lightweight concretes. *Journal of Hazardous Materials*, 197:954-965, 2010..
- [21]. Tiêu chuẩn TCVN 7572-11:2006 “Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử - Phần 11: Xác định độ nén đập và hệ số hoá mềm của cốt liệu lớn”.
- [22]. Bùi Lê Anh Tuấn, Hwang Chao Lung, Ngô Văn Ánh, Nguyễn Quốc Chiến, Kiều Phước Ngọc và Nguyễn Nhật Trường. Xây dựng quy trình tính toán cấp phối cho bê tông tự lèn trên cơ sở tối ưu cấp phối cốt liệu và thể tích vữa. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*..
- [23]. Tiêu chuẩn TCVN 8828:2011 “Bê tông – Yêu cầu bảo dưỡng ẩm tự nhiên”.
- [24]. Tiêu chuẩn TCVN 3108: 1993 “Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp xác định khối lượng thể tích”.
- [25]. Tiêu chuẩn TCVN 3118:1993 “Bê tông nặng-Phương pháp xác định cường độ nén”..
- [26]. Tiêu chuẩn TCVN 3113:1993 “Bê tông nặng-Phương pháp xác định độ hút nước”..
- [27]. UNE-EN 13055-1:2003, Lightweight aggregates - Part 1: Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout, 2003..
- [28]. Tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 “Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật”.
- [29]. Tiêu chuẩn TCVN 6220:1997 “Lightweight aggregates for concrete – Expanded clay, gravel and sand – Technical requirements, 1997..
- [30]. Tiêu chuẩn TCVN 8228-2009 “Hỗn hợp bê tông thủy công”.
- [31]. EN 206-1: 2013 Concrete. Specification, performance, production and conformity..
- [32]. ASTM C330/C330M-17a, Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org..
- [33]. ACI 318-11, Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI Committee 318, 2011..
- [34]. Bui Le Anh Tuan, Duong Hoang Bao Khanh, Nguyen Van Thanh, Huynh Trong Phuoc. Research on the production of fly ash based-lightweight aggregate for concrete. *Vietnam Journal of Construction – Copyright Vietnam Ministry of Construction*, 610:151-153, 2019..