



NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM NÂNG CAO MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG NHẹ CỐT LIỆU RỔNG

Nguyễn Công Thắng^{1*}, Hàn Ngọc Đức², Hoàng Tuấn Nghĩa³

Tóm tắt: Bê tông nhẹ cốt liệu rỗng polystyrene (EPS-C) là loại vật liệu nhẹ, có cường độ nén thấp và khả năng hấp thụ năng lượng cao. Tuy nhiên, do trọng lượng các hạt polystyrene nhẹ với bề mặt kỵ nước nên khi trộn trong bê tông các hạt polystyrene có xu hướng bị phân tầng, điều này ảnh hưởng đến tính công tác và làm giảm cường độ của bê tông. Trong nghiên cứu này sẽ đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng hạt polystyrene, kích thước hạt polystyrene, thời gian rung khi tạo hình và sợi polypropylene đến cường độ của EPS-C. Các kết quả nghiên cứu cho thấy khi thời gian rung tăng cường độ nén của bê tông giảm. Với EPS-C có khối lượng thể tích từ 650-900 kg/m³, cường độ nén đạt từ 3-7.5 MPa có thể đạt được bằng cách thay thế một hàm lượng hạt polystyrene nhất định. Ngoài ra việc bổ sung sợi polypropylene cũng cải thiện cường độ nén cho EPS-C.

Từ khóa: Bê tông nhẹ cốt liệu rỗng polystyrene; hạt polystyrene; thời gian rung tạo hình; sợi polypropylene.

An experimental investigation on improving properties of expanded polystyrene concrete (EPS-C)

Abstract: Expanded polystyrene concrete (EPS-C) is a lightweight, low strength material with high energy-absorption characteristics. However, due to the light weight of EPS beads and their hydrophobic surface, EPS-C is prone to segregation during mixing and producing, which results in poor workability and lower strength. In this study, the effect of polystyrene beads contents, different particle sizes of polystyrene, period of vibration and polypropylene fiber contents on compressive strength of concrete are experimentally investigated. The research show that the compressive strength of concrete decreases when vibration period increases. The EPS concrete with a density of 650-900 kg/m³ and a compressive strength of 3-7.5 MPa can be made by using EPS beads. Moreover, the addition of polypropylene fiber significantly improves the compressive strength of concrete.

Keywords: Expanded polystyrene concrete; expanded polystyrene bead; time period of vibration; polypropylene fiber.

Nhận ngày 17/01/2018; sửa xong 12/01/2018; chấp nhận đăng 28/02/2018

Received: January 17th, 2018; revised: January 12th, 2018; accepted: February 28th, 2018



1. Tổng quan

Bê tông nhẹ cốt liệu rỗng polystyrene (EPS-C) là loại bê tông có cường độ thấp, khả năng hấp thụ năng lượng tốt. Loại bê tông này đã được nghiên cứu và ứng dụng để chống nóng và cách âm khá phổ biến trên thế giới. Vật liệu để chế tạo loại bê tông này bao gồm chất kết dính, cát, nước, phụ gia và hạt polystyrene, ngoài ra có thể sử dụng thêm các loại phụ gia khoáng để giảm lượng dùng xi măng, giảm giá thành cũng như cải thiện các tính chất kỹ thuật cho bê tông [1,2]. Việc sử dụng hạt EPS trong bê tông ngoài ưu điểm như của bê tông thường còn có tính cách âm, cách nhiệt tốt hơn và đặc biệt là tổng giá thành của công trình sử dụng bê tông nhẹ thấp hơn đáng kể so với sử dụng các loại bê tông khác. Bê tông EPS-C nhẹ hơn so với bê tông thường là do hỗn hợp bê tông nhẹ EPS-C bao gồm hệ thống cấu trúc lỗ rỗng lớn được tạo ra từ độ rỗng xốp của các hạt polystyrene phồng nở, cấu trúc lỗ rỗng bé được tạo nên từ các lỗ rỗng gel và hệ thống mao quản nằm trong phần vách ngăn nằm giữa các lỗ rỗng lớn. Việc sử dụng hạt Polystyrene phồng nở sẽ có ưu điểm rất lớn trong việc giảm trọng lượng và cách nhiệt cho bê tông [2,3]. Tuy nhiên, do

¹ TS, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

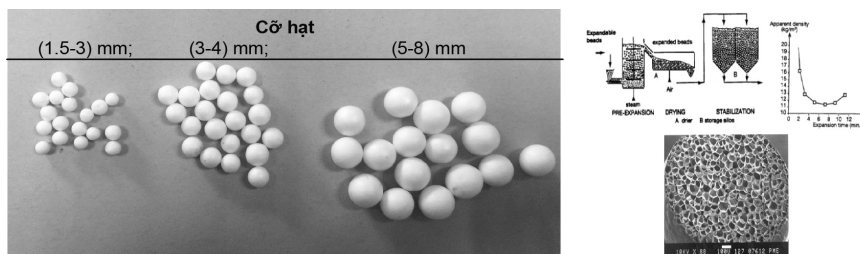
² ThS, Công ty CP tường nhẹ Nucewall Hưng Yên.

³ TS, Khoa Xây dựng DD&CN, Trường Đại học Xây dựng.

* Tác giả chính. E-mail: keulas115@gmail.com.

Polystyrene phòng nở (EPS) có khối lượng thể tích chỉ 8-20 kg/m³, do vậy khi sử dụng trong bê tông các hạt EPS có xu hướng nổi lên bề mặt gây ra hiện tượng phân tầng trong quá trình tạo hình. Đã có rất nhiều nghiên cứu để khắc phục sự phân tầng của hỗn hợp bê tông này như Roy và cộng sự [4] đã sử dụng phụ gia siêu dẻo kết hợp với sợi phân tán để tránh sự phân tầng của hạt EPS. Ngoài ra để cải thiện cường độ và hạn chế sự phân tầng của bê tông EPS-C, Chen và Liu đã sử dụng styren-butadiene (SBR) trong bê tông, kết quả là cường độ của bê tông tăng 5-10% đồng thời khả năng chống thấm, hạn chế sự phân tầng cho bê tông. Các nghiên cứu của Sabaa [5] và Collins [6] về ảnh hưởng của khối lượng thể tích đến tính chất của EPS-C cho thấy, khối lượng thể tích của EPS-C ảnh hưởng lớn đến cường độ của bê tông, đồng thời mức độ ảnh hưởng của khối lượng thể tích đến cường độ lớn hơn so với cường độ uốn và mô đun đàn hồi.

Khác với bê tông nặng, bê tông EPS-C không sử dụng cốt liệu lớn và cốt liệu sử dụng chủ yếu là hạt EPS ngoại trừ trường hợp bê tông dùng cho kết cấu thì có thể sử dụng thêm cốt liệu là cát. Xét về mặt cấu tạo, hạt polystyrene (EPS) có dạng hình cầu, có cấu trúc rỗng tổ ong, không độc hại, khối lượng thể tích rất thấp từ 8-20 kg/m³, khi được sử dụng trong bê tông sẽ có ưu điểm làm giảm khối lượng, tăng khả năng cách âm, cách nhiệt cho bê tông. Có thể chế tạo bê tông nhẹ với khối lượng thể tích thay đổi từ 500 - 1800 kg/m³ và cường độ chịu nén của bê tông đạt từ 1.5-7.5 MPa. Hình 1 thể hiện cấu trúc hạt EPS quan sát dưới kính hiển vi, với cấu trúc rỗng xốp lớn có các màng polymer bên trong do vậy hạt EPS không thấm nước, đảm bảo duy trì được tính công tác của hỗn hợp bê tông.



Hình 1. Hạt Polystyrene và cấu trúc trong của hạt [1]

Có thể thấy rằng những nghiên cứu trong việc sử dụng hạt EPS để chế tạo bê tông nhẹ EPS-C ở Việt Nam được thực hiện khá sớm do có ưu điểm nhẹ, khả năng cách âm cách nhiệt tốt, tuy nhiên, một trong những nhược điểm lớn nhất của loại bê tông này là dễ xảy ra hiện tượng phân tầng, làm giảm chất lượng bê tông, nguyên nhân chính là do có sự chênh lệch lớn về khối lượng riêng giữa hạt EPS và các vật liệu thành phần, để khắc phục hiện tượng này cần phải tối ưu hàm lượng hạt EPS sử dụng cũng như các yếu tố công nghệ trong quá trình chế tạo. Bài báo này trình bày những kết quả thí nghiệm ban đầu về sự ảnh hưởng của hàm lượng và kích thước hạt EPS, ảnh hưởng của sợi polypropylene và quá trình rung khí tạo hình đến một số tính chất của bê tông nhẹ EPS-C, trên cơ sở các kết quả thực nghiệm này đề tài hướng tới sử dụng để chế tạo các tấm tường nhẹ với khả năng cách âm cách nhiệt lớn thích hợp sử dụng cho các kết cấu bao che nhà cao tầng và nhà công nghiệp.



2. Nguyên vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1 Nguyên vật liệu sử dụng

Vật liệu được dùng trong nghiên cứu gồm: Xi măng Pooclăng PCB40 có các tính chất cơ lý trình bày ở Bảng 1; Hạt EPS phòng nở sử dụng trong đề tài với 03 cấp hạt có đường kính (1.5-3) mm, (3-4) mm, (5-8) mm có khối lượng thể tích lần lượt là 16.5 kg/m³, 13 kg/m³ và 8.5 kg/m³. Nghiên cứu sử dụng phụ gia hóa dẻo Sikament R4. Sợi polypropylene (PP) được sử dụng với khối lượng thể tích 0.9 g/cm³, chiều dài sợi 19mm, đường kính khoảng 12μm, mô đun đàn hồi >5000MPa, cường độ chịu kéo của sợi > 500MPa.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này có sử dụng một số phương pháp tiêu chuẩn gồm:

Khối lượng thể tích của bê tông được xác định theo TCVN 3108-1993

Thí nghiệm cường độ nén của bê tông được xác định theo TCVN 3118-1993. Cường độ nén của bê tông được xác định trên mẫu với kích thước 150×150×150 mm với quá trình tạo hình và chế độ bảo dưỡng theo TCVN 3105-1993. Mẫu sau khi đổ vào khuôn thì kẹp chặt khuôn trên bàn rung với tần số 2800-3000 vòng/phút, biên độ dao động từ 0.3-0.5mm.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng

Tính chất	Đơn vị	Giá trị	Quy phạm	Phương pháp thí nghiệm
Độ mịn - Lượng sót sàng N°009 - Độ mịn Blaine	% cm ² /g	3.3 3120	≤ 10 ≥ 2800	TCVN 4030-2003
Độ dẻo tiêu chuẩn	%	29.0	-	TCVN 6017-2015
Cường độ nén - Sau 3 ngày - Sau 28 ngày	MPa	23.4 45.6	≥ 21.0 ≥ 40.0	TCVN 6016-2012

2.3 Cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu

Trong nghiên cứu này bê tông EPS-C có KLTT thấp và hướng tới các kết cấu bao che, cách âm, cách nhiệt, do vậy thành phần bê tông không sử dụng cát. Cấp phối bê tông EPS-C sử dụng trong nghiên cứu bao gồm xi măng (XM), phụ gia hóa dẻo (SD), nước (N), hạt EPS. Tính công tác của hỗn hợp bê tông lựa chọn đạt được từ 6-10 cm. Tỷ lệ thành phần vật liệu sử dụng trong nghiên cứu được cho ở Bảng 2 trên cơ sở kết quả nghiên cứu [7]. Trong đó, hàm lượng phụ gia hóa dẻo và nước được tính theo % khối lượng xi măng. Hàm lượng sợi PP sử dụng tính theo thể tích bê tông.

Bảng 2. Tỷ lệ thành phần vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

STT	Tỷ lệ vật liệu sử dụng chế tạo hồ CKD, % theo khối lượng xi măng			Tỷ lệ vật liệu trong hỗn hợp bê tông, % theo thể tích	
	XM	SD	N	Hồ xi măng	EPS
CP1	100	0,45	39	35,0	65,0
CP2	100	0,45	39	40,0	60,0
CP3	100	0,45	39	48,0	52,0

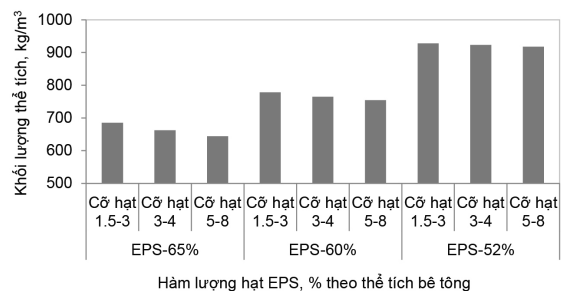


3. Kết quả thực nghiệm và bàn luận

3.1 Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông

Ảnh hưởng của hàm lượng hạt polystyrene (hạt EPS) và kích thước hạt EPS đến khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông được thể hiện ở Hình 2. Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi tăng hàm lượng hạt EPS thì khối lượng thể tích của bê tông giảm, khi hàm lượng hạt EPS sử dụng đến 65% khối lượng thể tích (KLTT) của hỗn hợp bê tông đạt 650 kg/m³, khi hàm lượng hạt EPS giảm xuống 60% và 52% thì khối lượng thể tích của bê tông tăng tương ứng 750 kg/m³ và 900 kg/m³.

Bên cạnh đó, ảnh hưởng của kích thước hạt EPS đến khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông cũng được nghiên cứu. Kết quả thí nghiệm cho thấy, với cùng một thể tích hạt EPS trong bê tông khi tăng kích thước hạt EPS thì khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông giảm. Với hỗn hợp bê tông sử dụng 65% hạt EPS thì khối lượng thể tích chênh lệch lớn nhất giữa hai cấp hạt 1.5-3 mm và 5-8 mm là 6.4%, tuy nhiên khi hàm lượng hạt EPS giảm xuống 60% và 52% thì sự chênh lệch giảm với mức chênh lệch tương ứng là 3.2% và 1.1% (Hình 2).


Hình 2. Ảnh hưởng của hàm lượng và kích thước hạt EPS đến khối lượng thể tích của EPS-C

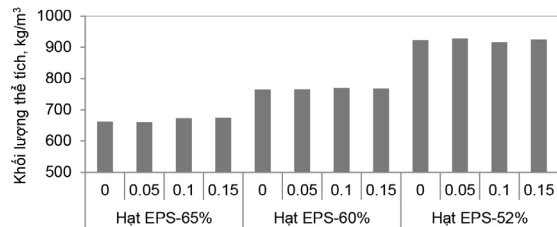
Trong nghiên cứu này còn đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng sợi PP đến khối lượng thể tích của hỗn hợp EPS-C (Hình 3). Trong đó, hạt EPS được sử dụng với cỡ hạt có kích thước (3-4) mm. Kết quả nghiên cứu cho thấy với hỗn hợp bê tông sử dụng 65% hạt EPS, khi sử dụng 0.05% sợi PP, khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông không có sự thay đổi nhiều so với mẫu đối chứng (sử dụng 0% sợi PP), khi sợi tiếp tục tăng đến 0.1% khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông không tăng nhiều, tương ứng tăng khoảng 2.4% so với mẫu đối chứng. Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông sử dụng 0.15% sợi không tăng so với

mẫu sử dụng 0.1% sợi PP. Như vậy, sợi PP không ảnh hưởng nhiều đến khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông, đặc biệt với hỗn hợp bê tông có KLTT lớn hơn 750 kg/m^3 .

Khi nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian rung khi tạo hình đến tính chất của hỗn hợp bê tông được thực hiện với cấp phối sử dụng sợi PP với hàm lượng 0% và 0.1% theo thể tích hỗn hợp bê tông.

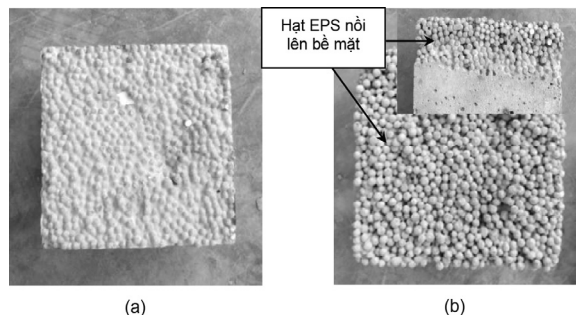
Kết quả thí nghiệm cho thấy với hỗn hợp bê tông sử dụng 0% sợi PP, khi thời gian rung tăng từ 20 giây lên 40 giây thì khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông không tăng, khi thời gian rung tiếp tục tăng lên 60 giây thì khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông tăng 6% và 8.5% tương ứng với hỗn hợp sử dụng 60% và 65% hạt EPS. Việc tăng KLTT là do khi thời gian rung tăng lên 60 giây hỗn hợp bê tông bắt đầu có hiện tượng phân tầng (nổi hạt EPS trên bề mặt mẫu) và hồ xi măng bị lắng xuống phía dưới làm tăng KLTT của bê tông (Hình 4). Với hỗn hợp sử dụng 52% hạt EPS thì thời gian rung không ảnh hưởng lớn đến KLTT của hỗn hợp bê tông và không xuất hiện hiện tượng phân tầng trong hỗn hợp bê tông (Hình 5).

Với hỗn hợp khi sử dụng 0.1% sợi PP, kết quả cho thấy khi thời gian rung tăng từ 20 giây lên 60 giây, hỗn hợp bê tông không có sự thay đổi nhiều về KLTT đồng thời hỗn hợp bê tông không xảy ra hiện tượng phân tầng (nổi hạt EPS lên bề mặt). Như vậy, việc sử dụng sợi PP đã hạn chế rất lớn sự phân tầng của hỗn hợp bê tông, điều này thể hiện rất rõ khi tăng thời gian rung khi tạo hình, tuy nhiên KLTT của hỗn hợp bê tông không có sự thay đổi nhiều (Hình 6).



Hàm lượng sợi PP, % theo thể tích bê tông

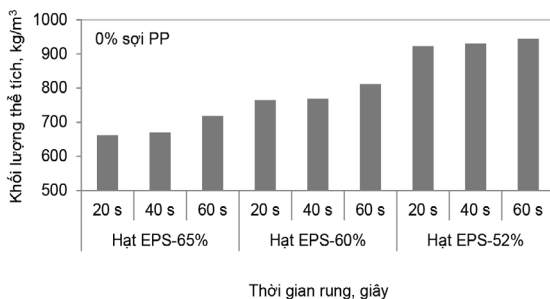
Hình 3. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi PP (từ 0-0.15% theo thể tích bê tông) đến khối lượng thể tích của EPS-C



Hình 4. Mẫu bê tông sau khi chế tạo với thời gian rung tạo hình khác nhau

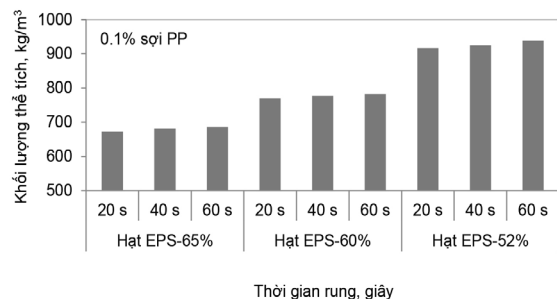
(a) Mẫu sử dụng 52% EPS, thời gian rung tạo hình 60 giây

(b) Mẫu sử dụng 65% EPS, thời gian rung tạo hình 60 giây



Thời gian rung, giây

Hình 5. Ảnh hưởng của thời gian rung đến khối lượng thể tích của EPS-C (Khi sử dụng 0% sợi PP)



Thời gian rung, giây

Hình 6. Ảnh hưởng của thời gian rung đến khối lượng thể tích của EPS-C (Khi sử dụng 0.1% sợi PP)

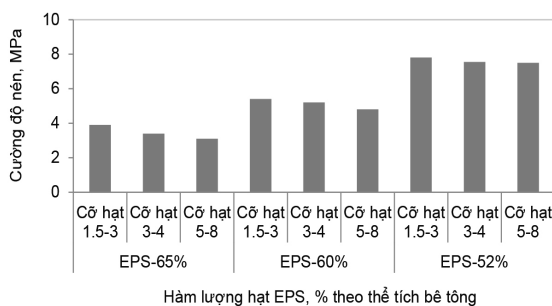
3.2 Cường độ chịu nén của bê tông

Trong nghiên cứu này sẽ trình bày kết quả về ảnh hưởng của hàm lượng hạt EPS, ảnh hưởng của kích thước hạt EPS, ảnh hưởng của hàm lượng sợi PP và thời gian rung đến cường độ chịu nén của bê tông.

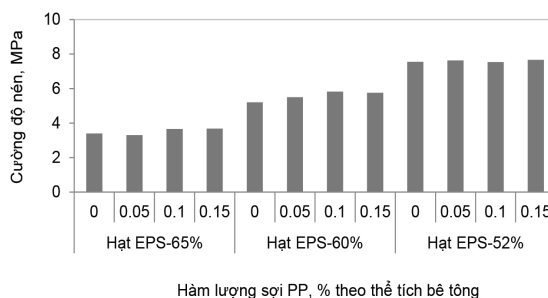
Ảnh hưởng của hàm lượng và kích thước hạt EPS đến cường độ nén được thể hiện ở Hình 7. Kết quả thí nghiệm cho thấy, tùy thuộc vào hàm lượng và kích thước hạt EPS sử dụng, cường độ nén của mẫu bê tông đạt từ 3.0 - 7.8 MPa. Khi giảm hàm lượng hạt EPS thì khối lượng thể tích của bê tông tăng đồng thời cường độ nén của bê tông tăng. Cường độ nén lớn nhất đạt 7.8 MPa khi sử dụng 52% hạt EPS. Kích thước của hạt EPS cũng ảnh hưởng đến cường độ nén của bê tông, khi kích thước hạt tăng từ cỡ hạt (1.5-3) mm lên cỡ hạt (5-8) mm thì cường độ nén của bê tông giảm, điều này thể hiện rõ nhất khi KLTT của bê

tông ở mức thấp (650 kg/m^3) mức độ giảm cường độ đến 20.5%. Trong khi đó với bê tông có KLTT đạt 900 kg/m^3 thì ảnh hưởng của kích thước hạt EPS đến cường độ nén không lớn, mức độ suy giảm cường độ đạt khoảng 4%.

Trong nghiên cứu này còn đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng sợi PP đến cường độ nén của EPS-C. Trong đó, hạt EPS được sử dụng với cỡ hạt có kích thước 3-4 mm. Kết quả nghiên cứu cho thấy với hỗn hợp sử dụng 60% và 65% hạt EPS khi sử dụng 0.05% sợi PP, cường độ chịu nén của bê tông không có sự thay đổi nhiều so với mẫu đối chứng (không sử dụng sợi PP), khi sợi tiếp tục tăng đến 0.1% và 0.15% cường độ chịu nén của bê tông không tăng nhiều, tương ứng tăng khoảng 7.4% và 8.2% so với mẫu đối chứng (Hình 8). Tuy nhiên, với hỗn hợp sử dụng 52% hạt EPS thì không có sự ảnh hưởng của sợi PP đến cường độ nén của bê tông.



Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng và kích thước hạt EPS đến cường độ nén của EPS-C



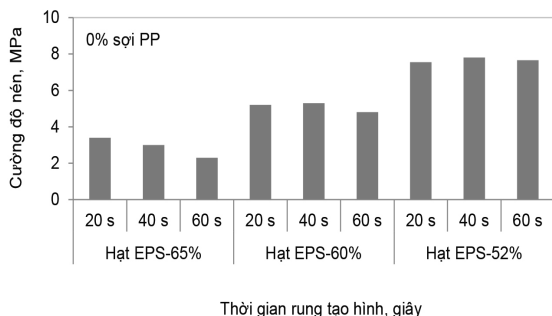
Hình 8. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi PP đến cường độ nén của EPS-C

Khi nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình rung khi tạo hình đến cường độ nén bê tông được thực hiện với cấp phối sử dụng hạt EPS với kích thước (3-4) mm và cấp phối sử dụng sợi PP với hàm lượng 0% và 0.1% theo thể tích hỗn hợp bê tông.

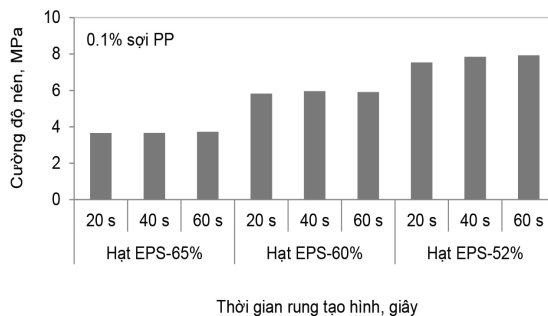
Hình 9 và Hình 10 thể hiện kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của thời gian rung đến cường độ nén của EPS-C. Kết quả cho thấy, với hỗn hợp sử dụng 0% sợi PP, khi thời gian rung tăng từ 20 giây lên 60 giây thì cường độ nén của bê tông giảm so với mẫu rung với thời gian 20 giây, mức độ giảm lớn nhất với hỗn hợp sử dụng 60% và 65% hạt EPS, tương ứng giảm 7.7% và 32%. Điều này là do khi thời gian tăng ở 60 giây hỗn hợp bê tông bắt đầu có hiện tượng phân tầng, phần hồ xi măng lắng xuống phía dưới và hạt EPS nổi lên phía trên điều này là làm giảm đáng kể cường độ của bê tông. Tuy nhiên, với hỗn hợp sử dụng 52% hạt EPS thì thời gian rung không ảnh hưởng đến cường độ nén của bê tông.

Với cấp phối bê tông khi sử dụng 0.1% sợi PP thì mức độ ảnh hưởng của thời gian rung đến cường độ nén của bê tông là không đáng kể, khi thời gian rung tăng lên đến 40 giây và 60 giây thì cường độ nén của bê tông không giảm so với mẫu khi rung ở 20 giây. Như vậy, sợi PP đã có vai trò rất lớn trong việc hạn chế sự phân tầng trong hỗn hợp và ổn định chất lượng cho bê tông.

Qua kết quả đạt được có thể thấy, tùy theo yêu cầu nhất định về khối lượng thể tích và cường độ nén của bê tông mà ta có thể lựa chọn hàm lượng hạt EPS, chế độ rung khi tạo hình và lựa chọn hàm lượng sợi PP khác nhau trong việc chế tạo bê tông EPS-C.



Hình 9. Ảnh hưởng của thời gian rung tạo hình đến cường độ nén của EPS-C (khi sử dụng 0% sợi PP)



Hình 10. Ảnh hưởng của thời gian rung tạo hình đến cường độ nén của EPS-C (khi sử dụng 0.1% sợi PP)



4. Kết luận

Qua kết quả thí nghiệm và xét trong phạm vi nghiên cứu, một số kết luận rút ra như sau:

- Khi sử dụng hạt EPS với hàm lượng từ 52-65% theo thể tích bê tông, khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông đạt từ 650-900kg/m³, cường độ nén của bê tông đạt từ 3-7.5 MPa. Khi kích thước hạt EPS giảm thì cường độ và khối lượng thể tích của bê tông tăng, mức độ ảnh hưởng của kích thước hạt thể hiện càng lớn khi KLTT của bê tông càng nhỏ (650 kg/m³).
- Với hỗn hợp EPS-C không sử dụng sợi PP, khi thời gian rung tạo hình tăng lên thì cường độ nén của bê tông có xu hướng giảm, đặc biệt khi sử dụng 65% hạt EPS thời gian rung tạo hình tăng đến 60 giây thì cường độ nén của bê tông giảm tới 32.3% so với mẫu rung tạo hình ở 20 giây.
- Việc sử dụng sợi PP đã cải thiện rất lớn tính chất của bê tông, hạn chế sự phân tầng, giữ vai trò rất lớn trong việc ổn định chất lượng của bê tông kể cả khi tăng thời gian rung đến 60 giây./.

Tài liệu tham khảo

1. Miled K., Sab K., Roy R.L. (2007), "Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modelling", *Mechanics of Materials*, 222-240.
2. Nguyễn Như Quý (2002), *Công Nghệ Vật liệu Cách Nhiệt*, Nhà xuất bản xây dựng.
3. Nguyễn Tấn Quý, Nguyễn Thiện Ruệ (2000), *Giáo Trình Công Nghệ Bê tông Xi măng*, Nhà xuất bản Giáo Dục.
4. Roy R., Parant E., Boulay C. (2005), "Taking into account the inclusions' size in lightweight concrete compressive strength prediction", *Cement and Concrete Research*, 35(4):770-775.
5. Sabaa B., Ravindrarajah R. (1999), "Workability assessment for polystyrene aggregate concrete", *7th Quality Control Congress*, Montevideo, Uruguay.
6. Collins J., Ravindrarajah R. (1998), "Temperature development in Concrete with EPS breads", *Paper presented at AUSTCERM 98*, Melbourne, Australia.
7. Hoàng Tuấn Nghĩa, Hàn Ngọc Đức, Nguyễn Công Thắng (2017), *Nghiên cứu chế tạo tấm tường đúc sẵn sử dụng bê tông nhẹ cốt liệu rỗng Polystyrene dùng để xây lắp nhà ở thấp tầng vùng nông thôn đồng bằng Sông Cửu Long*, Đề tài cấp trường trọng điểm, 136-2016/KHXD-TĐ, Trường Đại học Xây dựng.