Nghiên cứu một số tính chất của bê tông nhẹ sử dụng hạt polystyrene phồng nở tái chế

Research on some properties of lightweight concrete using recycled expanded polystyrene aggregates

Nguyễn Huệ Chi, Nguyễn Tiến Dũng*

Trường Đại học Giao thông vận tải
*Tác giả liên hệ: nguyen.tiendung@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 12/10/2023; Ngày chấp nhận đăng: 15/11/2023

Tóm tắt:

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm xác định ảnh hưởng của cốt liệu polystyrene (hạt xốp) phồng nở tái chế (REPS) đến tính công tác, cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và khối lượng thể tích của bê tông. REPS được sử dụng với bốn hàm lượng là 30%, 40%, 50% và 60% theo thể tích. Khi tăng hàm lượng REPS, tính công tác của hỗn hợp bê tông giảm rõ rệt, đặc biệt khi hàm lượng REPS sử dụng 50-60%. Khối lượng thể tích của bê tông nhẹ sử dụng hạt REPS (REPSC) giảm 800 - 1000 kg/m^3. Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của REPSC có xu hướng giảm mạnh nếu tăng hàm lượng REPS. Ngoài ra, ảnh hưởng của REPS đến cường độ chịu kéo khi uốn là thấp hơn so với cường độ chịu nén. Có thể điều chỉnh cường độ của REPSC bằng cách thay đổi cường độ của pha nền thông qua các yếu tố như tỷ lệ *N/X*, hàm lượng chất kết dính.

Từ khóa: Cốt liệu polystyrene phồng nở tái chế; Bê tông nhẹ; Độ sụt; Cường độ chịu nén; Cường độ chịu kéo khi uốn; khối lượng thể tích.

Abstract:

This paper presents an experimental study to determine the effects of recycled expanded polystyrene aggregates (REPS) on workability, compressive strength, flexural tensile strength, and concrete density. REPS was used with four levels of content: 30%, 40%, 50%, and 60% by volume of concrete. The result shows that when increasing the REPS content, the workability of the concrete mix decreases, especially when the REPS content used is up to 50-60%. The density of recycled expanded polystyrene concrete (REPSC) can be adjusted to 800-1000 kg/m^3 when the REPS content is up to 50%-60%. The compressive and flexural tensile strengths of the REPSC tended to decrease sharply with increasing REPS content. In addition, the influence of the REPS on the flexural tensile strength was lower than that on the compressive strength. The strength of the REPSC can be adjusted by changing the strength of the binder phase through factors such as the W/C ratio and binder content.

Keywords: Recycled expanded polystyrene (EPS) aggregates; Lightweight concrete; Slump; Compressive strength; Flexural tensile strength; Density.

1. Giới thiệu

Bê tông nhẹ sử dụng hạt polystyrene phồng nở (Expanded Polystyrene - EPS) bắt đầu nghiên cứu từ những năm 90 của thế kỉ XX và cho đến nay đã được ứng dụng rộng rãi tại nhiều nước trên thế giới. Loại bê tông này có thể được ứng dụng cho cả hai loại cấu kiện là chịu lực và không chịu lực với nhiều ưu điểm so với bê tông truyền thống như khối lượng thể tích thấp, khả năng cách âm, cách nhiệt tốt. Trước đây, loại bê tông này chủ yếu được sử dụng trong xây dựng dân dụng với vai trò là các cấu kiện không chịu lực, cách nhiệt, cách âm như tường bao che.

Loại bê tông nhẹ này có khối lượng thể tích từ 500 - 800 kg/m^3 và có cường độ chịu nén từ 3,5 đến 7,5 MPa. Đối với các cấu kiện chịu lực, bê tông sử dụng hạt EPS thường được chế tạo với khối lượng thể tích từ 1000 - 1500 kg/ m^3 và có cường độ chịu nén lên đến khoảng 10 - 15 MPa [1]-[4]. Bên cạnh những ứng dụng trong xây dựng dân dụng, bê tông nhẹ cũng bắt đầu được nghiên cứu và ứng dụng trong lĩnh vực xây dựng công trình giao thông. Trên thực tế, quá trình xây dựng cơ sở hạ tầng giao thông gặp nhiều vấn đề về nền đất yếu. Biện pháp sử dụng bê tông nhẹ để xử lý ổn định nền đường đắp cao sau mố cầu trên nền đất yếu đã được đề xuất trong những năm gần đây [5]. Hiện nay, lĩnh vực logistics ngày càng phát triển kéo theo nhu cầu đóng gói để vận chuyển, bảo quản hàng hoá ngày một tăng. Quá trình này sử dụng phổ biến vật liệu EPS. Sau khi sử dụng chỉ một phần nhỏ EPS được tái chế, còn phần lớn trở thành phế thải nhựa và đang tác động rất lớn đến môi trường sinh thái. Để giảm thiểu lượng chất thải đó, một số nghiên cứu đã đề xuất việc tái chế vật liệu EPS bằng cách nghiền các thùng xốp EPS phế thải thành cốt liệu (REPS) để chế tạo bê tông nhẹ [6]-[10]. Nghiên cứu của Villa và cộng sự [6] đã cho thấy bê tông sử dụng hạt EPS tái chế (REPSC) thay thế một phần cốt liệu nhỏ vẫn duy trì đầy đủ các đặc tính cơ lý, đồng thời, cải thiện tính kinh tế và môi trường. Kết quả chỉ ra rằng, khi thay thế hoàn toàn cốt liệu nhỏ bằng REPS, tính công tác, khối lượng thể tích và cường độ chịu nén của bê tông có thể giảm tới 50% so với bê tông đối chứng. Mặt khác, khả năng truyền nhiệt của loại bê tông này cũng giảm đi đáng kể so với bê tông thông thường. Hơn nữa, nó giúp giảm 15% lượng khí thải CO_2 và tiết kiệm 16% mức tiêu thụ năng lượng, giá thành giảm trên 7% so với bê tông đối chứng. Một nghiên cứu khác của Gamal và cộng sự [7] cũng chỉ ra hiệu quả kỹ thuật mang lại khi sử dụng REPS để chế tạo bê tông. REPS được sử dụng thay thế một phần cho cốt liệu để chế tạo bê tông nhẹ có đặc tính cách nhiệt tốt. Tỷ lệ thay thế là 50%, 55% và 60% theo thể tích hỗn hợp. Kết quả cho thấy rằng, việc sử dụng REPS làm giảm đáng kể khối lượng thể tích, độ dẫn nhiệt của bê tông. So với bê tông đối chứng, mức giảm khối lượng thể tích dao động trong khoảng từ 37% đến 60%, độ dẫn nhiệt giảm khoảng 63% đến 85%. Cường độ chịu nén của loại bê tông này đạt 5,1 - 7,2 MPa. Điều này làm cho chúng phù hợp với các ứng dụng không chịu lực đòi hỏi khả năng cách nhiệt tốt.

Đối với Việt Nam, chủ đề về bê tông sử dụng REPS còn tương đối mới và chưa nhận được nhiều quan tâm nghiên cứu. Gần đây, Thắng và cộng sự [11] đã nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ sử dụng REPS với các vật liệu sẵn có tại Việt Nam. Hạt REPS được sử dụng với hàm lượng 25 - 50% thể tích bê tông. Khối lượng thể tích, độ hút nước mao quản và cường độ chịu nén của REPSC là các đối tượng được quan tâm trong nghiên cứu này, tuy nhiên, chưa đề cập đến tính công tác của REPS.

Xuất phát từ các phân tích kể trên, bài báo này tập trung nghiên cứu về bê tông nhẹ sử dụng hạt REPS và góp phần cung cấp thêm các thông tin hữu ích về loại bê tông này. Hàm lượng REPS được sử dụng lên đến 60% thể tích bê tông. Thông qua nghiên cứu thực nghiệm, ảnh hưởng của hạt REPS và một số yếu tố về thành phần vật liệu tới các tính chất của bê tông như tính công tác, khối lượng thể tích, cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn được xem xét và phân tích.

2. Vật liệu chế tạo và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu chế tạo

Các vật liệu chính sử dụng để chế tạo REPSC là cốt liệu xốp phồng nở tái chế REPS, xi măng, tro bay, cát và phụ gia siêu dẻo.

- Cốt liệu REPS

Xốp phế thải được nhóm nghiên cứu thu gom trên địa bàn Quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội sau đó rửa sạch, phơi khô và tập kết tại phòng thí nghiệm Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải. Các mảnh xốp khô sau đó được đưa vào máy nghiền. Các hạt xốp sau khi

nghiền có kích thước khoảng 1,18 đến 9,5 mm. Phần lớn các hạt có kích thước khoảng 2,36 đến 4,75 mm. Các hạt REPS có hình dạng ngẫu nhiên và bề mặt nhám ráp hơn so với các hạt EPS mới, vốn đặc trưng bởi dạng hình cầu với bề mặt trơn nhẵn. Hình 1 và Hình 2 thể hiện quá trình nghiền xốp và thành phẩm REPS thu được sau khi nghiền.

Hình 1. Công tác nghiền xốp phế thải tại phòng thí nghiệm

Hình 2. Cốt liệu xốp tái chế (REPS) thu được sau khi nghiền.

Các thông số kĩ thuật của REPS được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số kĩ thuật của cốt liệu REPS.

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị
1	Đường kính hạt	mm	1-5
2	Khối lượng thể tích	kg/m^3	19,7
3	Khối lượng thể tích xốp	kg/m^3	11,1

- Xi măng: Loại xi măng sử dụng trong nghiên cứu này là xi măng poóc lăng hỗn hợp PCB30 The Vissai có các đặc trưng kỹ thuật phù hợp với các quy định tại tiêu chuẩn TCVN 6260:2020 [12].

- Tro bay: Là tro tuyển của nhà máy nhiệt điện Phả Lại (loại F). Loại tro bay này có các đặc tính kỹ thuật thoả mãn tiêu chuẩn TCVN 10302:2014 [13].

- Cát: Sử dụng trong nghiên cứu này là cát vàng sông Lô. Loại cát này có thành phần hạt thoả mãn tiêu chuẩn ASTM C33 [14].

- Phụ gia siêu dẻo (PGSD) sử dụng là loại giảm nước cao Sikament NN, gốc polycarboxylate cải tiến của hãng SIKA.

2.2. Thành phần vật liệu

Thành phần bê tông REPSC được thiết kế dựa trên nguyên tắc thể tích đặc tuyệt đối. Để điều chỉnh khối lượng thể tích của REPSC cũng như đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng REPS đến các đặc tính cơ lý của loại bê tông này, bốn hàm lượng REPS (theo thể tích bê tông) được lựa chọn là 30%, 40%, 50% và 60%, tương ứng với thể tích còn lại của bê tông nền lần lượt là 70%, 60%, 50% và 40%. Hàm lượng bọt khí lựa chọn là 3%. Để cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông, nghiên cứu sử dụng PGSD với hàm lượng cố định là 2 lít cho 1 m^3 hỗn hợp bê tông. Nhằm đánh giá ảnh hưởng của cường độ pha

nền kết dính đến cường độ của REPSC, hai tỷ lệ *N/X* được lựa chọn là 0,4 và 0,5. Pha nền kết dính được thiết kế với tỷ lệ các thành phần theo khối lượng của xi măng, tro bay, nước, PGSD như trong Bảng 2.

Bảng 2. Tỷ lệ thành phần vật liệu của các cấp phối bê tông.

Vật liệu	Cấp phối bê tông			
	CP1/CP5	**CP2/CP6**	**CP3/CP7**	**CP4/CP8**
Tỷ lệ theo khối lượng của các thành phần trong pha nền				
Xi măng	1	1	1	1
Tro bay	0,4	0,4	0,4	0,4
Nước*	0,5/0,4	0,5/0,4	0,5/0,4	0,5/0,4
% theo thể tích				
Pha nền	70	60	50	40
REPS	30	40	50	60

* Ghi chú: Các cấp phối CP1, CP2, CP3, CP4 có tỷ lệ *N/X* = 0,5; các cấp phối CP5, CP6, CP7, CP8 có tỷ lệ *N/X* = 0,4.

Thành phần các cấp phối bê tông được giới thiệu ở Bảng 3 và Bảng 4.

Bảng 3. Thành phần cấp phối cho 1m^3 của các hỗn hợp bê tông.

Vật liệu	Cấp phối bê tông				
	CPĐC1	**CP1**	**CP2**	**CP3**	**CP4**
Xi măng (kg)	360	360	360	360	360
Tro bay (kg)	144	144	144	144	144
Nước (kg)	180	180	180	180	180
PGSD (kg)	2	2	2	2	2
Cát (kg)	1634	857	598	339	80
REPS (kg)	0	5,41	7,22	9,02	10,83

Bảng 4. Thành phần cấp phối cho 1m^3 của các hỗn hợp bê tông.

Vật liệu	Cấp phối bê tông				
	CPĐC2	**CP5**	**CP6**	**CP7**	**CP8**
Xi măng (kg)	450	450	450	450	450
Tro bay (kg)	180	180	180	180	180
Nước (kg)	180	180	180	180	180
PGSD (kg)	2	2	2	2	2
Cát (kg)	1516	739	480	221	0
REPS (kg)	0	5,41	7,22	9,02	10,83

2.3. Chế tạo mẫu và phương pháp thí nghiệm

Các chỉ tiêu kĩ thuật của bê tông nhẹ sử dụng hạt xốp phồng nở tái chế được xác định theo các tiêu chuẩn thí nghiệm dưới đây:

- Thí nghiệm độ sụt được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 3016:2022 [15];
- Cường độ chịu nén được xác định trên mẫu hình lập phương cạnh 100 mm theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022 [16];
- Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi uốn được thực hiện trên mẫu dầm có kích thước 100 x 100 x 400 mm theo tiêu chuẩn TCVN 3119:2022 [17];
- Quá trình chế tạo và bảo dưỡng mẫu thí nghiệm tuân thủ theo tiêu chuẩn TCVN 3105:2022 [18].

Hình 3. Thí nghiệm xác định độ sụt của hỗn hợp bê tông.

Hình 4. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của REPSC.

Hình 5. Mẫu REPSC bị phá hoại sau thí nghiệm xác định cường độ chịu nén.

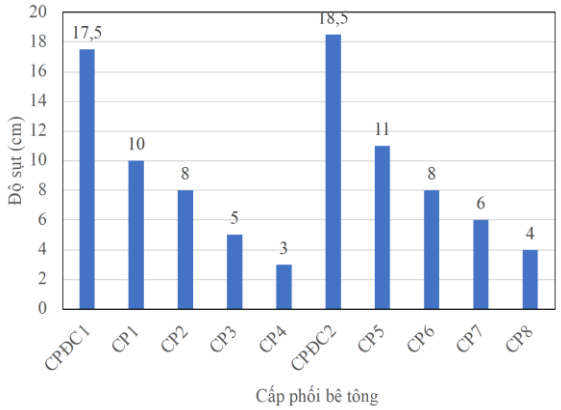
Hình 6. Chế tạo mẫu xác định cường độ chịu kéo khi uốn của REPSC.

Hình 7. Thí nghiệm uốn 4 điểm xác định cường độ chịu kéo khi uốn của REPSC

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Độ sụt của hỗn hợp bê tông

Độ sụt của các hỗn hợp bê tông được thể hiện trên Hình 8.



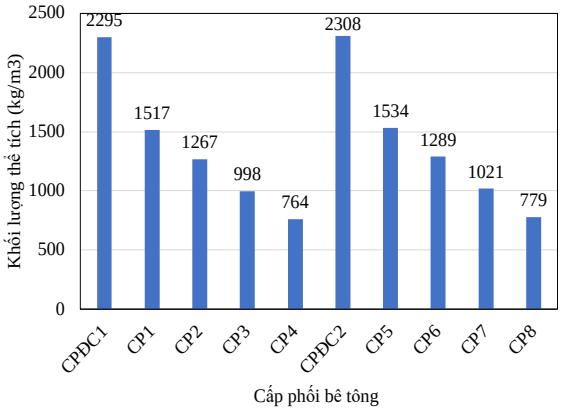
Hình 8. Độ sụt của các hỗn hợp bê tông.

Nhận thấy độ sụt của các hỗn hợp bê tông giảm dần khi tăng hàm lượng xốp tái chế. Với tỷ lệ *N/X* = 0,5, CPĐC1 có độ sụt là 18,5 cm, trong khi các cấp phối CP1, CP2, CP3, CP4 có độ sụt giảm dần và giá trị lần lượt là 10 cm, 8 cm, 5 cm và 4 cm. Các cấp phối này đều sử dụng cùng một hàm lượng nước và PGSD. Các kết quả tương tự cũng được tìm thấy với các cấp phối sử dụng tỷ lệ *N/X* = 0,4. Khi đó độ sụt giảm dần từ 18,5 cm xuống lần lượt là 11 cm, 8 cm, 6 cm và 4 cm tương ứng với hàm lượng xốp tái chế tăng từ 0% đến 30%, 40%, 50% và 60%. Như vậy, có thể kết luận rằng, xốp tái chế ảnh hưởng rất lớn đến tính công tác của hỗn hợp bê tông. Các hạt xốp tái chế có bề mặt nhám ráp, không hút nước, qua đó, làm tăng ma sát giữa các hạt và bê tông nền. Bởi vậy, tính công tác của hỗn hợp bê tông giảm khi tăng hàm lượng xốp tái chế. Mặt khác, tính công tác của hỗn hợp bê tông suy giảm rất mạnh khi sử dụng hàm lượng xốp tái chế lên đến 50% và 60%. Đây là đặc điểm cần lưu ý khi chế tạo REPSC có khối lượng thể tích thấp. Khi đó, cần lựa chọn công nghệ đầm, công nghệ đổ khuôn thích hợp để hỗn hợp bê tông trong kết cấu được đồng nhất.

Ngoài ra, các kết quả thí nghiệm còn cho thấy, khi sử dụng cùng một hàm lượng xốp tái chế, độ sụt của hỗn hợp bê tông có tỷ lệ *N/X* = 0,4 và 0,5 là tương đương nhau. Điều này xuất phát từ việc hai pha nền có cùng lượng nước và hàm lượng PGSD, qua đó, độ linh động của hai hỗn hợp này là tương đương nhau.

3.1. Khối lượng thể tích của REPSC

Khối lượng thể tích của các cấp phối bê tông được thể hiện trên Hình 9.



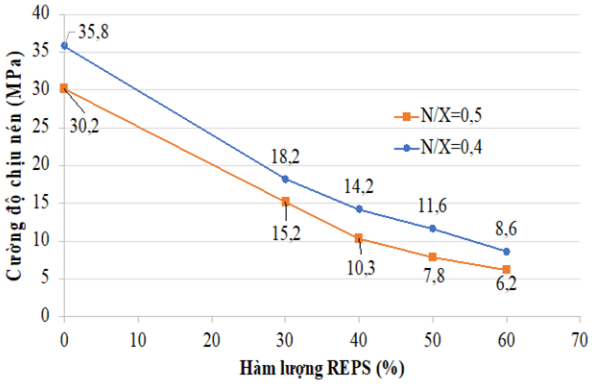
Hình 9. Khối lượng thể tích của các cấp phối bê tông.

Dựa trên các kết quả thu được, có thể khẳng định hiệu quả rõ rệt của xốp tái chế trong việc làm giảm khối lượng thể tích của bê tông. CPĐC1 có khối lượng thể tích là 2295 kg/m^3. Trong khi đó, nếu sử dụng hàm lượng xốp tái chế là 30%, 40%, 50% và 60% thì khối lượng thể tích của các cấp phối CP1, CP2, CP3 và CP4 giảm lần lượt là 1517 kg/m^3, 1267 kg/m^3, 998 kg/m^3 và 764 kg/m^3, tương ứng với mức giảm lần lượt là 34%, 45%, 57% và 67%. Tương tự, các cấp phối CP1, CP2, CP3 và CP4 có khối

lượng thể tích giảm đáng kể so với CPĐC2 và có giá trị lần lượt là 1534 kg/m^3, 1289 kg/m^3, 1021 kg/m^3 và 779 kg/m^3. Như vậy, khi sử dụng 50% xốp tái chế, khối lượng thể tích của RESPC có thể giảm khoảng 1000 kg/m^3, sử dụng tới 60% xốp tái chế, RESPC có khối lượng thể tích dưới 800 kg/m^3.

3.2. Cường độ chịu nén

Cường độ chịu nén của các cấp phối REPSC ở 28 ngày tuổi được thể hiện trên Hình 10.



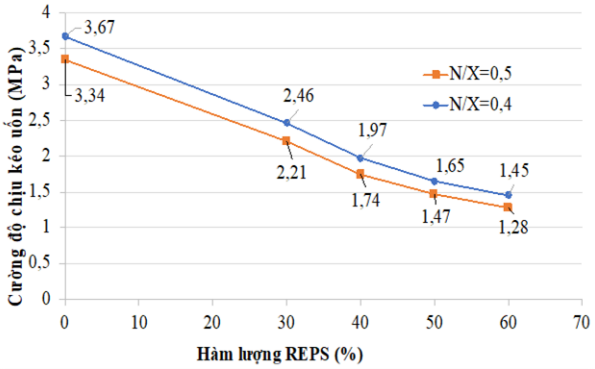
Hình 10. Cường độ chịu nén của các cấp phối bê tông ở 28 ngày tuổi.

Với cùng một tỷ lệ *N/X*, cường độ chịu nén của REPSC có xu hướng giảm khi tăng hàm lượng xốp tái chế. Với tỷ lệ *N/X* = 0,5, các cấp phối CPĐC1, CP1, CP2, CP3, CP4 có cường độ chịu nén lần lượt là 30,2 MPa, 15,2 MPa, 10,3 MPa, 7,8 MPa và 6,2 MPa. Như vậy, có sự chênh lệch đáng kể về cường độ chịu nén giữa CPĐC1 với các cấp phối còn lại. Các cấp phối sử dụng hàm lượng xốp tái chế là 30%, 40%, 50% và 60% có cường độ chịu nén giảm lần lượt là 50%, 66%, 74% và 79% so với CPĐC1. Sự có mặt của xốp tái chế làm suy giảm mạnh cường độ chịu nén của bê tông. Tương tự như vậy, các cấp phối có tỷ lệ *N/X* = 0,4 cũng cho thấy cường độ chịu nén bị suy giảm đáng kể khi tăng dần hàm lượng xốp tái chế từ 0% (CPĐC2) đến 30%, 40%, 50% và 60%. Khi đó, các cấp phối CP5, CP6, CP7, CP8 có cường độ chịu nén lần lượt là 18,2 MPa, 14,2 MPa, 11,6 MPa, 8,6 MPa, trong khi CPĐC2 có cường độ chịu nén là 35,8 MPa. Cho thấy cường độ chịu nén đã giảm khoảng 50 - 75% so với CPĐC2.

Các kết quả thu được cho thấy tỷ lệ *N/X* ảnh hưởng đáng kể đến cường độ chịu nén của loại bê tông này. Với cùng một hàm lượng xốp tái chế, các cấp phối sử dụng tỷ lệ *N/X* = 0,4 đều có cường độ chịu nén cao hơn so với các cấp phối sử dụng tỷ lệ *N/X* = 0,5, mức độ chênh lệch dao động trong khoảng 14 - 19 %. Chênh lệch này đến từ sự khác biệt về cường độ của pha nền bao bọc xốp tái chế. Hai loại nền kết dính này có cùng hàm lượng nước nhưng hàm lượng chất kết dính (bao gồm xi măng và tro bay) khác nhau, tức tỷ lệ *N/X* và *N/CKD* khác nhau, điều đó dẫn đến, sự chênh lệch về cường độ của pha nền kết dính. Đây chính là nguyên nhân dẫn đến sự thay đổi về cường độ chịu nén của REPSC khi thay đổi tỷ lệ *N/X*.

3.3. Cường độ chịu kéo khi uốn

Cường độ chịu kéo khi uốn của các cấp phối REPSC ở 28 ngày tuổi, thể hiện tại Hình 11.



Hình 11. Cường độ kéo khi uốn của các cấp phối bê tông ở 28 ngày tuổi.

Tương tự như cường độ chịu nén, các kết quả thu được cho thấy, xốp tái chế có ảnh hưởng rất lớn đến cường độ chịu kéo khi uốn của REPSC. Với tỷ lệ *N/X* = 0,5, các cấp phối CPĐC1, CP1, CP2, CP3, CP4 có cường độ chịu kéo khi uốn lần lượt là 3,34 MPa, 2,21 MPa, 1,74 MPa, 1,47 MPa và 1,28 MPa. Như vậy, có sự chênh lệch đáng kể về cường độ chịu kéo khi uốn giữa CPĐC1 với các cấp phối còn lại. Các cấp phối CP1, CP2, CP3, CP4 có mức suy giảm cường độ chịu kéo khi uốn lần lượt là 34%, 48%, 56% và 62% so với CPĐC1. Tương tự, cường độ chịu kéo khi uốn của các cấp phối CP5, CP6, CP7 và CP8 cũng cho thấy sự suy giảm so với

CPĐC2. Các cấp phối này có cường độ chịu kéo khi uốn lần lượt là 2,46 MPa, 1,97 MPa, 1,65 MPa và 1,45 MPa, trong khi CPĐC2 có cường độ chịu kéo khi uốn là 3,67 MPa. Có thể thấy, cường độ chịu kéo khi uốn đã giảm từ 33% cho đến 60% so với CPĐC2.

Các kết quả này cũng chỉ ra rằng, sự thay đổi tỷ lệ *N/X* cũng ảnh hưởng rõ rệt đến cường độ chịu kéo khi uốn của loại bê tông này. Với cùng một hàm lượng xốp tái chế, các cấp phối sử dụng tỷ lệ *N/X* = 0,4 đều có cường độ chịu kéo khi uốn cao hơn khoảng 10 - 13% so với các cấp phối sử dụng tỷ lệ *N/X* = 0,5. Sự chênh lệch này đến từ sự khác biệt về cường độ của pha nền bao bọc xốp tái chế.

4. Kết luận

Bài báo đã tập trung phân tích ảnh hưởng của cốt liệu polystyrene tái chế (REPS) đến một số tính chất của bê tông nhẹ REPSC. Một số kết luận được đúc kết như sau:

Có thể điều chỉnh khối lượng thể tích của REPSC bằng cách thay đổi hàm lượng REPS. Khi hàm lượng REPS là 30 - 40% thì khối lượng thể tích của REPSC đạt khoảng 1200 - 1500 kg/m^3. Khối lượng thể tích của REPSC có thể giảm 800 - 1000 kg/m^3 khi hàm lượng REPS lên tới 50 - 60%.

Sự có mặt của REPS có ảnh hưởng rõ rệt đến tính công tác của hỗn hợp bê tông. Tính công tác của hỗn hợp bê tông suy giảm rất mạnh khi sử dụng hàm lượng xốp tái chế ở mức 50 - 60%. Đặc điểm này cần được lưu ý khi chế tạo REPSC có khối lượng thể tích thấp.

REPS có ảnh hưởng đáng kể đến cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của REPSC. Ngoài ra, ảnh hưởng của REPS đến cường độ chịu kéo khi uốn là thấp hơn so với cường độ chịu nén. Cường độ của loại bê tông này có xu hướng giảm mạnh khi tăng hàm lượng REPS. Có thể điều chỉnh cường độ của REPS bằng cách thay đổi cường độ của bê tông nền thông qua các yếu tố như tỷ lệ *N/X*, hàm lượng chất kết dính.

Có thể chế tạo REPSC với khối lượng thể tích 1200 - 1500 kg/m^3, cường độ chịu nén đạt 12 - 18 MPa, cường độ chịu kéo khi uốn đạt 1,7 - 2,5 MPa. Với loại REPSC có khối lượng thể tích 800 - 1000 kg/ m^3, cường độ chịu nén đạt khoảng 7 - 12 MPa, cường độ chịu kéo khi uốn đạt 1,3 - 1,7 MPa. Như vậy, có thể tận dụng vật liệu xốp phế thải để chế tạo bê tông nhẹ chịu lực cho các công trình xây dựng dân dụng và công trình giao thông.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2023-CT-037.

Tài liệu tham khảo

[1] A. Mandlik, T. S. Sood, S. Karade, S. Naik, A. Kulkarni, "Lightweight concrete using EPS," *Int. J. of Sci. and Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 2007-2010, Mar. 2015.

[2] A. Mulla and A. Shelake, "Lightweight expanded polystyrene beads concrete," *Int. J. of Res. in Advent Tech.*, pp. 17-21, Mar. 2016.

[3] D. Bouvard *et al.*, "Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete," *Cem. and Conc. Res.*, vol. 37, no. 12, pp. 1666-1673, Dec. 2007, doi: 10.1016/j.cemconres.2007.08.028.

[4] H. M. Ewadh, N. A. Basri, "Effectiveness of polystyrene beads as aggregate replacement material to recycle solid waste: A study on workability and absorption results of concrete," *Int. J. of Sci. & Eng. Res.*, vol. 3, no. 8, pp. 1-4, Aug. 2012.

[5] N. D. Liêm, "Ứng dụng bê tông nhẹ xử lý ổn định nền đường đắp cao sau mố cầu," *TC CĐ VN*, số 3, tr. 21-22, 2016.

[6] D. M. Villa, J. S. Patino, D. E. Mogrovejo, and J. G. Bernal, "Influence of recycled expanded polystyrene for sustainable structural concrete," *Struct. J.*, vol. 120, no. 3, pp. 87-99. May 2023, doi: 10.14359/51738666.

[7] S. E. Gamal, Y. Al-Jardani, M. S. Meddah, K. A. Sohel and A. Al-Saidy, "Mechanical and thermal

properties of lightweight concrete with recycled expanded polystyrene beads," Eur. J.of Environ. and Civ. Eng., pp.1-15, 2023, doi: 10.1080/19648189.2023.2200830.

[8] F. PachecoTorgal *et al.*, "Use of recycled plastics in eco-efficient concrete," in *Civil and Structural Engineering*, Sawston, UK: Woodhead Publishing, 2009.

[9] J. Elsalah, Y. Al-Sahli, A. Akish, O. Saad, and A. Hakemi, "The influence of recycled expanded polystyrene (EPS) on concrete properties: Influence on flexural strength, water absorption and shrinkage," in *Proc. 3rd Int. Adv. in Appl. Phys, and Mater. Sci. Congr.*, vol. 1569, no. 1, pp. 181–185, Dec. 2013, doi: 10.1063/1.4849254.

[10] B. A. Herki, J. M. Khatib, and E. M. Negim, "Lightweight concrete made from waste polystyrene and fly ash," *World Appl. Sci. J.*, vol. 21, no. 9, pp. 1356-1360, Jan. 2013, doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.21.9.20213.

[11] N. C. Thắng, N. V. Tuấn, H. N. Đức, N. V. Quảng, Đ. T. V. Anh, H. V. Thắng, Đ. T. Thanh, "Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ sử dụng hạt Polystyrene phồng nở tái chế," *TC KHCN XD*, tập 15, số 1V, tr. 72-83, 2021, doi: 10.31814/stce.nuce2021-15(1V)-07.

[12] *Xi măng poóc lăng hỗn hợp*, TCVN 6260:2020, Bộ Xây dựng, 2020.

[13] *Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng*, TCVN 10302:2014, Bộ Xây dựng, 2014.

[14] *Standard Specification for Concrete Aggregates*, ASTM C33, ASTM International, 2018.

[15] *Hỗn hợp bê tông – Phương pháp xác định độ sụt*, TCVN 3106:2022, Bộ Xây dựng, 2022.

[16] *Bê tông – Phương pháp xác định cường độ chịu nén*, TCVN 3118:2022, Bộ Xây dựng, 2022.

[17] *Bê tông – Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn*, TCVN 3119:2022, Bộ Xây dựng, 2022.

[18] *Hỗn hợp bê tông và bê tông – Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu*, TCVN 3105:2022, Bộ Xây dựng, 2022.