

NGHIÊN CỨU TÁI CHẾ RÁC THẢI NHỰA LÀM CỐT LIỆU SẢN XUẤT BÊ TÔNG XANH

Nguyễn Quang Phú, Nguyễn Thanh Huyền

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Trong nghiên cứu đã thay thế 1%, 3%, 5%, 10% và 15% cốt liệu mịn tự nhiên bằng cốt liệu nhựa PET nghiền mịn, kết hợp với phụ gia khoáng là Tro bay để sản xuất bê tông có cường độ, tính chống thấm, tính công tác đáp ứng yêu cầu thi công các công trình xây dựng. Bê tông sử dụng cốt liệu nhựa PET tái chế kết hợp với phụ gia khoáng có cường độ nén ở 28 ngày tuổi tăng từ 8.56% đến 21.51% tương ứng với hàm lượng cốt liệu nhựa PET thay thế cát tự nhiên từ 1% đến 10%, mác chống thấm của bê tông đạt W10 ở tuổi 28 ngày và W12 ở tuổi 90 ngày, tăng từ 1 đến 2 cấp so với mẫu bê tông đối chứng. Sử dụng cốt liệu nhựa PET tái chế nghiền mịn thay thế cát tự nhiên góp phần giảm giá thành xây dựng, giảm thiểu ô nhiễm môi trường, làm đa dạng các loại vật liệu xây dựng xanh thân thiện với môi trường.

Từ khóa: Cốt liệu, nhựa PET, Tro bay, phụ gia siêu dẻo.

Summary: In this study, 1%, 3%, 5%, 10% and 15% of natural fine aggregates were replaced by finely ground PET plastic aggregates, combined with Fly Ash mineral additives to produce concrete with strength, water resistance and workability meeting the requirements of construction projects. Concrete using recycled PET plastic aggregate combined with mineral additives has a compressive strength at 28 days of age increased from 8.56% to 21.51% corresponding to the content of PET plastic aggregate replacing natural sand from 1% to 10%. The waterproof grade of the concrete reaches W10 at 28 days and W12 at 90 days, an increase of 1 to 2 levels compared to the control concrete sample. Using finely ground recycled PET plastic aggregate instead of natural sand contributes to reducing construction costs, minimizing environmental pollution, and diversifying environmentally friendly green construction materials.

Keywords: Aggregate, Poly-Ethylene Terephthalate (PET), Fly ash (FA), Superplasticizer.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nguồn cốt liệu mịn (cát tự nhiên) để sản xuất bê tông ngày càng cạn kiệt nguồn khai thác bởi tốc độ xây dựng và quá trình đô thị hóa diễn ra rất mạnh như hiện nay. Ở Việt Nam, mỗi năm lượng bê tông cần sản xuất và xây dựng khoảng gần 200 triệu m³ và ngày càng tăng lên do nhu cầu xây dựng tăng cao, tuy nhiên sản lượng bê tông này chủ yếu sản xuất từ các loại cốt liệu cát sông và đá dăm khai thác tự nhiên. Trong nước, trữ lượng cốt liệu cát và đá tự

nhiên dùng trong sản xuất bê tông ngày càng khan hiếm, đẩy giá thành xây dựng lên cao. Ngoài ra, việc khai thác cát sông một cách ồ ạt dẫn đến mất đất sản xuất nông nghiệp, gây xói lở bờ sông, nguy hại đến đời sống dân sinh kinh tế của người dân quanh khu vực khai thác cát tự nhiên.

Hiện nay, đã có nhiều giải pháp sử dụng các loại cốt liệu mịn thay thế cho cát tự nhiên để sản xuất bê tông, trong đó phải kể đến việc tận dụng nguồn phụ phẩm công nghiệp luyện gang thép đó là xỉ thép nghiền mịn hoặc tận dụng các phụ phẩm xây dựng (bê tông tái chế, gạch vỡ, gôm xư...) nghiền mịn để thay thế cho cát

Ngày nhận bài: 08/8/2025

Ngày thông qua phản biện: 18/11/2025

Ngày duyệt đăng: 25/11/2025

tự nhiên trong sản xuất bê tông. Tuy nhiên, nguồn nguyên liệu này cũng không phải là vô tận, vì vậy cần phải tận dụng tối đa nguồn chất thải rắn hàng ngày thải ra ngoài môi trường để nghiên cứu có thể thay thế cho cốt liệu mịn trong sản xuất bê tông là hết sức cần thiết.

Nhựa là vật liệu rẻ, nhẹ, đa năng và dễ tiếp cận, vì vậy việc sử dụng nhựa đã trở thành một thói quen cần thiết trong cuộc sống hàng ngày của chúng ta và sản lượng nhựa đã tăng theo cấp số nhân trong những năm qua. Do đó, lượng rác thải liên quan đến nhựa tăng lên, gây ảnh hưởng và làm suy yếu môi trường sống của chúng ta. Điều này khuyến khích các nhà nghiên cứu sử dụng chất thải này trong sản xuất bê tông như một vật liệu bền vững để giảm thiểu tối đa lượng rác thải nhựa ra môi trường, góp phần bảo vệ môi trường tốt hơn.

Hai trong số những đặc tính có lợi nhất của nhựa là độ bền và khả năng chịu đựng, cho phép chế tạo các sản phẩm bền bỉ. Những đặc tính này khiến con người tiếp xúc với nhựa hầu như hàng ngày, trong mọi tương tác của cuộc sống hàng ngày so với các vật liệu khác. Những ưu điểm của các vật liệu này và sự gia tăng dân số thế giới khiến ngành công nghiệp nhựa sẽ tăng gấp đôi sản lượng trong mười đến hai mươi năm tới (Ragaert và cộng sự, 2017). Sau đó, tổng cộng 700 triệu tấn nhựa sẽ được sản xuất vào năm 2050, trong đó Châu Á, Bắc Mỹ và Châu Âu là những nơi sản xuất nhiều hơn với lần lượt 50%, 15% và 20% nguồn cung trong tương lai. Hơn nữa, rác thải nhựa có thể được định nghĩa là sự tích tụ của nhựa trên bề mặt Trái đất có nguồn gốc từ các nguồn khác nhau như ngành công nghiệp đóng gói và từ các hộ gia đình. Khoảng 6,5 tỷ tấn rác thải nhựa được tạo ra mỗi năm trên toàn cầu (Lee, Z.H., và cộng sự, 2018). Sự tích tụ của rác thải nhựa dẫn đến một vấn đề về môi trường vì hầu hết các loại nhựa đều không phân hủy sinh học trong tự nhiên và mất hơn 400 năm để phân hủy.

Tỷ lệ rác thải nhựa được tái chế năm 2015 là 16%. Ước tính cho thấy vào năm 2021, tỷ lệ tái chế sẽ tăng lên tới 25%. Nhưng nếu ước tính sản xuất này là hợp lệ, thì vẫn còn một lượng rác thải nhựa đáng kể không được tái chế (Foti, 2019). Khi đó, cần phải tăng cường tái chế rác thải nhựa trong tương lai và do đó cần phải phát triển và áp dụng các giải pháp sáng tạo để giảm thiểu rác thải nhựa. Về vấn đề đó, Akinpelu và cộng sự (2019) đã nêu rằng tỷ lệ có thể tăng đáng kể nếu rác thải nhựa tái chế được tái sử dụng trong ngành Xây dựng và Thi công, đây là ngành đứng thứ hai trong bảng xếp hạng sử dụng nhựa. Về vấn đề đó, vật liệu xây dựng được sản xuất bằng nhựa tái chế vẫn chưa được sử dụng rộng rãi do thiếu tiêu chuẩn hóa và tính bảo thủ của ngành, tuy nhiên các nguyên mẫu thực tế chủ yếu đã được sử dụng để chứng minh tính tốt của vật liệu này (Thomas và cộng sự, 2009). Trong bối cảnh hiện nay, cần tập hợp các nghiên cứu về việc sử dụng rác thải nhựa tái chế trong sản xuất bê tông. Khi thực hiện điều này, đã có nhiều nhà nghiên cứu đã nêu bật được những lợi ích của việc sử dụng loại rác thải này để sản xuất bê tông bền vững hơn và tác động đến các kỹ sư, chủ yếu ở các nước đang phát triển, để sử dụng các phương pháp cải tiến ứng dụng loại rác thải này.

Việc xử lý rác thải nhựa Poly-Ethylene Terephthalate (PET) là vấn đề cấp bách vì rác thải này chiếm lượng lớn và đang gây ra nhiều tác hại nghiêm trọng đến môi trường sống. Nhiều biện pháp đưa ra để tái sử dụng rác thải này, trong đó việc tận dụng nhựa phế thải làm vật liệu xây dựng là một hướng đi phù hợp, vừa giảm sự tác động cho môi trường vừa giảm việc khai thác tài nguyên thiên nhiên. Do đó, nghiên cứu này sử dụng nhựa PET phế thải từ các chai nước uống một lần thay thế một phần cốt liệu cát tự nhiên trong sản xuất bê tông.

Chính vì vậy, việc nghiên cứu và đưa vào sử dụng các phế thải nhựa tái chế làm cốt liệu sản

xuất bê tông là vô cùng cần thiết và hữu ích, giải quyết kịp thời vấn đề khan hiếm về cốt liệu tự nhiên sản xuất bê tông, nhằm mang lại hiệu quả kinh tế và góp phần bảo vệ môi trường. Bên cạnh đó, tận dụng nguồn phụ gia khoáng như *Tro bay*, góp phần giảm giá thành sản xuất bê tông, từ đó có thể chủ động được nguồn vật liệu trong xây dựng. Hơn nữa, bê tông có sử dụng phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng Pooc-lăng sẽ làm cho bê tông đặc chắc hơn, bê tông có tính bền và mác chống thấm rất cao, phù hợp thi công cho tất cả các công trình xây dựng khác nhau.

Vì vậy, cần định hướng nghiên cứu để tận dụng và sử dụng hiệu quả về công nghệ sản xuất vật liệu tái chế rác thải nhựa làm cốt liệu cho bê tông, đánh giá đặc tính kỹ thuật của bê

tông, từ đó có những đề xuất cần thiết để có thể áp dụng các loại vật liệu này trong xây dựng. Trong nghiên cứu đã thay thế 1%, 3%, 5%, 10%, 15% cốt liệu mịn (cát sông) bằng cốt liệu nhựa tái chế PET, kết hợp với phụ gia khoáng là *Tro bay* để sản xuất được bê tông có cường độ, tính chống thấm, tính công tác phù hợp với thi công và sản xuất một số cấu kiện bê tông.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tiêu chuẩn thí nghiệm

Trong nghiên cứu sử dụng các tiêu chuẩn để thí nghiệm một số tính chất kỹ thuật của bê tông và các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu như trong Bảng 1.

Bảng 1: Các tiêu chuẩn thí nghiệm

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Tiêu chuẩn thí nghiệm
1	Độ sụt	TCVN 3106:2022
2	Chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu	TCVN 7572:2006
3	Cường độ nén	TCVN 3118:2022
4	Mác chống thấm	TCVN 3116:2007
5	Độ hút nước	TCVN 3113:2022

2.2. Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

2.2.1. Xi măng

Đề tài sử dụng xi măng PCB40 Xuân Thành

thiết kế bê tông; kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu cơ lý của xi măng như trong Bảng 2 đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2020.

Bảng 2: Kết quả thí nghiệm một số tính chất của xi măng

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3.10
2	Độ mịn	%	6.0
3	Lượng nước tiêu chuẩn	%	32.6
4	Thời gian bắt đầu đông kết	phút	122.5
	Thời gian kết thúc đông kết	phút	320.5
5	Độ ổn định thể tích	mm	2.2
6	Giới hạn bền nén tuổi 3 ngày	N/mm ²	22.5
	Giới hạn bền nén tuổi 28 ngày	N/mm ²	46.8

2.2.2. Phụ gia khoáng

Tro bay Phả Lại (nguồn cung ứng từ nhà máy

nhật điện Phả Lại - Hải Dương) được sử dụng thay thế một phần xi măng trong các cấp phối

bê tông thiết kế. Các tính chất cơ lý và thành phần hóa học của Tro bay được phân tích, kết

quả như Bảng 3 đạt yêu cầu theo TCVN 10302:2014.

Bảng 3: Kết quả thí nghiệm một số tính chất của tro bay Phả Lại

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2.28
2	Khối lượng thể tích	g/cm ³	0.95
3	Độ ẩm	%	0.24
4	Hàm lượng mất khi nung	%	3.2
5	Hàm lượng SiO ₂	%	58.6
6	Hàm lượng Fe ₂ O ₃	%	9.5
7	Hàm lượng Al ₂ O ₃	%	30.8
8	Hàm lượng SiO ₃	%	0.16

2.2.3. Cốt liệu thô

Trong thiết kế mẫu bê tông sử dụng cốt liệu thô tự nhiên là đá dăm. Đá dăm lấy ở công trình xây dựng và được đưa về để thí nghiệm.

Kết quả thí nghiệm tính chất cơ lý và thành phần hạt của đá dăm cỡ hạt (5-20) mm ở Bảng 4 đạt TCVN 7570:2006.

Bảng 4: Kết quả thí nghiệm một số tính chất của đá dăm

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2.74
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1.68
3	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	0.08
4	Hàm lượng hạt thoi dẹt	%	2.4
5	Hàm lượng hạt mềm yếu	%	0.8
6	Độ hút nước	%	0.68
7	Thành phần hạt	-	Đạt

2.2.4. Cốt liệu mịn

* **Cát tự nhiên:** Trong thí nghiệm sử dụng cát sông được lấy từ công trình về để thí nghiệm.

Kết quả thí nghiệm cát dùng chế tạo bê tông có thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý phù hợp TCVN 7570:2006 trình bày trong Bảng 5 và 6.

Bảng 5: Kết quả thí nghiệm một số tính chất của cát

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2.66
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1.64
3	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	1.10
4	Độ hồng	%	38.3
5	Độ ẩm	%	3.2
6	Mô đun độ lớn	-	2.86
7	Tạp chất hữu cơ	-	Đạt
8	Thành phần hạt	-	Đạt

Bảng 6: Thành phần hạt của cát tự nhiên

Kích thước mắt sàng, mm	5.0	2.5	1.25	0.63	0.315	0.14
Lượng sót tích lũy, Ai (%)	0	17.8	30.2	63.5	78.8	95.6
TCVN 7570:2006, Ai (%)	0	0÷20	15÷45	35÷70	65÷90	90÷100

* **Cốt liệu nhựa PET tái chế:** Trong thí nghiệm sử dụng một phần cốt liệu nhựa PET tái chế để thay thế cát tự nhiên. Nhựa PET được tái chế từ các vỏ chai nước uống, sau khi rửa sạch và phơi khô thì đem nghiền mịn như các hạt cát. Kết quả thí nghiệm nhựa PET dùng chế tạo bê tông có các chỉ tiêu cơ lý phù hợp ISO 13636:2012 trình bày trong Bảng 7. Thành phần hạt của cốt liệu nhựa PET phù hợp TCVN 7570:2006 như trong Bảng 8.

*Hình 1: Cốt liệu nhựa PET tái chế nghiền mịn***Bảng 7: Kết quả thí nghiệm một số tính chất của cốt liệu nhựa PET**

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả TNo
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	1.38
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	0.884
3	Độ hồng	%	36.0
4	Độ hút nước	%	0.35
5	Mô đun độ lớn	-	2.45
6	Thành phần hạt	-	Đạt

Bảng 8: Thành phần hạt của cốt liệu nhựa PET

Kích thước mắt sàng, mm	5.0	2.5	1.25	0.63	0.315	0.14
Lượng sót tích lũy, Ai (%)	0	12.6	25.4	46.8	68.8	91.2
TCVN 7570:2006, Ai (%)	0	0÷20	15÷45	35÷70	65÷90	90÷100

2.3.6. Nước

Nước sử dụng để trộn và bảo dưỡng bê tông là nước sinh hoạt lấy tại phòng thí nghiệm, nước sử dụng trong thí nghiệm phù hợp tiêu chuẩn TCVN 4506: 2022.

2.3.7. Phụ gia hóa học

Để hỗn hợp bê tông có tính công tác và khả năng đầm chặt tốt thì hỗn hợp bê tông thiết kế không được phép xảy ra hiện tượng phân tầng và tách nước. Trong nghiên cứu chế tạo bê tông sử dụng cốt liệu mịn là nhựa tái chế thay thế một phần cát tự nhiên, đã sử dụng phụ gia

siêu dẻo giảm nước bậc cao gốc Polycarboxylate (PC) phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C494 với lượng dùng theo hướng dẫn của nhà cung cấp. Tuy nhiên, cần phải thí nghiệm để xác định tỷ lệ pha trộn hợp lý, đảm bảo tính công tác yêu cầu của hỗn hợp bê tông và mác bê tông thiết kế.

3. THIẾT KẾ CẤP PHỐI BÊ TÔNG VÀ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

3.1. Thiết kế cấp phối bê tông

* Các yêu cầu cơ bản trước khi thiết kế:

Để thiết kế cấp phối BT, cần xác định rõ các yêu cầu cần biết trước khi thiết kế như:

- Yêu cầu về bê tông: Mác bê tông (cường độ nén theo ngày tuổi), yêu cầu mác chống thấm, chống mài mòn ...
- Yêu cầu về điều kiện thi công: Hình dạng kết cấu, kích thước, mật độ cốt thép; Thời gian cần để thi công, nhiệt độ môi trường, phương tiện vận chuyển hỗn hợp bê tông, phương tiện đổ đổ BT ...
- Yêu cầu về vật liệu chế tạo bê tông:
 - + Xi măng: Loại, cường độ thực tế, khối lượng riêng, thời gian đông kết...
 - + Phụ gia khoáng hoạt tính: Loại, độ mịn, hoạt tính, khối lượng riêng...
 - + Cốt liệu mịn: Loại (Cát tự nhiên, nhựa tái chế), mô đun độ lớn, khối lượng riêng...

+ Cốt liệu thô: Loại (Đá dăm), Dmax, các chỉ tiêu cơ lý...

+ Phụ gia siêu dẻo giảm nước: Loại phụ gia, lượng dùng, khả năng giảm nước...

* Nghiên cứu với mẫu bê tông đối chứng sử dụng cốt liệu mịn là cát tự nhiên và cốt liệu thô là đá dăm, chọn độ sụt yêu cầu SN = 10±2cm, mác bê tông thiết kế ở tuổi 28 ngày của mẫu đối chứng đạt 25MPa. Sử dụng phương pháp thiết kế thành phần bê tông theo tiêu chuẩn ACI 211.1, tính toán khối lượng các loại vật liệu cho 1m³ bê tông và ký hiệu mẫu thí nghiệm CP0. Thay thế *cốt liệu mịn* lần lượt 1%, 3%, 5%, 10%, 15% bằng cốt liệu nhựa PET tái chế và ký hiệu mẫu tương ứng là CP1, CP3, CP5, CP10 và CP15. Thành phần vật liệu cho các cấp phối bê tông thiết kế như trong Bảng 9.

Bảng 9: Thành phần vật liệu cho 1m³ bê tông thiết kế

Cấp phối	XM (kg)	FA (kg)	Nước (lít)	Đá (kg)	Cốt liệu mịn		PGSD (lít)
					Cát (kg)	PET tái chế (kg)	
CP0	285	95	190	1150	650	0	5.7
CP1	285	95	190	1150	643.5	6.5	5.7
CP3	285	95	190	1150	630.5	19.5	5.7
CP5	285	95	190	1150	617.5	32.5	5.7
CP10	285	95	190	1150	585.0	65.0	5.7
CP15	285	95	190	1150	552.5	97.5	5.7

Sau khi thiết kế thành phần vật liệu cho 1m³ bê tông như Bảng 9, tiến hành phối trộn vật liệu đúng tiêu chuẩn và thí nghiệm xác định độ sụt của các hỗn hợp bê tông (HHBT). Sau đó đúc mẫu thí nghiệm cường độ nén, mác chống thấm, độ hút nước của các cấp phối bê tông thiết kế để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu nhựa PET tái chế đến một số tính chất kỹ thuật của bê tông.

3.2. Kết quả thí nghiệm độ sụt

Tiến hành trộn vật liệu các cấp phối bê tông đã thiết kế như Bảng 9, thí nghiệm xác định độ sụt của hỗn hợp bê tông (HHBT) cho các cấp

phối khác nhau theo TCVN 3106:2022. Kết quả kiểm tra độ sụt của các HHBT thể hiện như trong Bảng 10.

Bảng 10: Kết quả thí nghiệm độ sụt các hỗn hợp bê tông

TT	Cấp phối	Độ sụt, SN (mm)	
		Không PGSD	Có PGSD
1	CP0	125	145
2	CP1	105	125
3	CP3	90	115
4	CP5	80	105
5	CP10	75	95
6	CP15	60	75

Nhận xét: Từ kết quả thí nghiệm độ sụt ở Bảng 10, có thể thấy các hỗn hợp bê tông (HHBT) thiết kế *khi chưa có PGSD* thì chỉ có HHBT sử dụng 100% cát tự nhiên (CP0) và cấp phối thay thế 1% đến 5% nhựa PET tái chế (CP1, CP3 và CP5) thỏa mãn yêu cầu thiết kế về tính công tác của HHBT. Khi pha PGSD với hàm lượng hợp lý thì tất cả các cấp phối bê tông đều có độ sụt thỏa mãn yêu cầu thiết kế, đảm bảo yêu cầu thi công bê tông. Tuy nhiên, khi thay thế cát tự nhiên đến 15% bằng cốt liệu nhựa PET tái chế thì HHBT có xu hướng giảm tính công tác rõ rệt, HHBT chưa đạt được độ sụt theo yêu cầu thiết kế là $SN = 80 \div 120\text{mm}$.

Khi hàm lượng cốt liệu nhựa PET thay thế cát tự nhiên tăng lên thì tính công tác của HHBT giảm xuống, thông qua thí nghiệm nhận thấy, hàm lượng thay thế hợp lý khoảng 10% PET thì HHBT cốt liệu nhựa tái chế vẫn đảm bảo tính công tác. Sự giảm này là do diện tích bề mặt lớn hơn của các hạt chất thải PET so với các hạt cát tự nhiên, cho phép bão hòa một lượng lớn nước trên bề mặt của nó và do đó làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông.

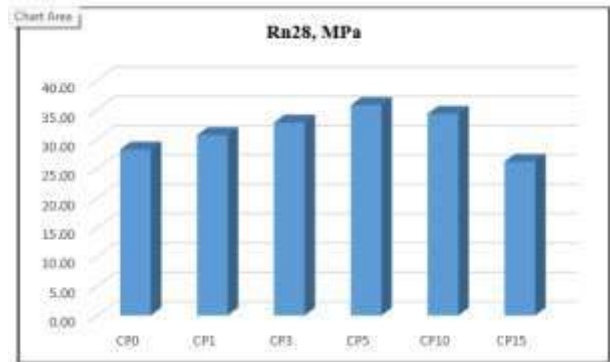
Trong quá trình làm thí nghiệm, quan sát các HHBT thí nghiệm sau khi trộn cũng thấy được độ đồng nhất của các HHBT rất tốt, không có hiện tượng phân tầng và không xuất hiện tách nước tại mép rìa ngoài của HHBT sau khi trộn và sau khi làm thí nghiệm kiểm tra độ sụt.

3.3. Kết quả thí nghiệm cường độ nén

Để thí nghiệm cường độ nén, đúc các tổ mẫu thí nghiệm hình lập phương có kích thước (15x15x15)cm, mẫu đúc thí nghiệm được chế tạo và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022.

Kết quả thí nghiệm cường độ nén ở 28 ngày tuổi của các cấp phối bê tông thiết kế như biểu

đồ Hình 2.



Hình 2: Biểu đồ so sánh Rn của các cấp phối bê tông

Nhận xét: Về cường độ nén, so với mẫu bê tông đối chứng sử dụng 100% cốt liệu cát tự nhiên (CP0) thì bê tông sử dụng cốt liệu nhựa PET thay thế cát dưới 10% có cường độ nén tăng lên, tăng khoảng 8,65% đến 26,79% ở 28 ngày tuổi khi hàm lượng cốt liệu nhựa PET thay thế từ 1 đến 5% (CP1, CP3 và CP5). Khi hàm lượng cốt liệu cát 10% (CP10) thì cường độ nén của bê tông tăng 21,51% ở 28 ngày tuổi. Khi hàm lượng cốt liệu nhựa PET thay thế cốt liệu cát 15% (CP15) thì cường độ nén của bê tông có xu hướng giảm 7,34% ở 28 ngày tuổi. Kết quả nghiên cứu phù hợp với một số nghiên cứu của Azhdarpour et al. [1], Albano C. [2] và Rahmani et al. [8]. Sự cải thiện về các tính chất cơ học này của bê tông chủ yếu là do kích thước nhỏ của các hạt PET và tỷ lệ w/c thấp (dẫn đến giảm lượng nước chảy xung quanh các hạt PET), do đó, tạo ra liên kết tốt hơn giữa hồ xi măng và cốt liệu PET. Ngoài ra, trong thiết kế bê tông có pha thêm phụ gia khoáng hoạt tính để tăng liên kết vùng chuyển tiếp giữa đá xi măng và cốt liệu, làm tăng cường độ bê tông.

Từ các kết quả thí nghiệm cường độ nén của các mẫu bê tông sử dụng cốt liệu nhựa PET thay thế cát tự nhiên, có thể nhận thấy việc sử dụng rác thải nhựa PET nghiền mịn để thay thế

cát tự nhiên là khả quan, hàm lượng thay thế tối đa có thể lên đến 10% PET. Ngoài ra, cần thiết phải thí nghiệm thêm một số tính chất kỹ thuật khác của bê tông như cường độ kéo khi uốn, mức chống thấm, độ mài mòn... để khẳng định chính xác hàm lượng cốt liệu nhựa PET tối ưu khi thiết kế thành phần bê tông. Những khác biệt giữa các kết quả thí nghiệm còn liên quan đến cấp phối, hình dạng và kích thước của các hạt PET, loại xi măng, tỷ lệ nước và xi măng, các loại PGK pha trộn v.v.

3.4. Kết quả thí nghiệm mức chống thấm

Các mẫu bê tông thử mức chống thấm được chuẩn bị và thí nghiệm theo TCVN 3116:2022. Mỗi cấp phối bê tông đúc 06 mẫu kích thước (H15xD15)cm, tất cả các mẫu được bảo dưỡng 28 và 90 ngày trong điều kiện tiêu chuẩn, sau đó tiến hành kiểm tra mức chống thấm. Kết quả thí nghiệm mức chống thấm của bê tông sau 28 và 90 ngày thể hiện trong Bảng 11.

Bảng 11: Kết quả thí nghiệm mức chống thấm

TT	Cấp phối	Mức chống thấm W, at	
		28 ngày	90 ngày
1	CP0	W6	W8
2	CP1	W6	W8
3	CP3	W6	W8
4	CP5	W8	W10
5	CP10	W10	W12
6	CP15	W10	W12

Nhận xét: Tất cả các mẫu bê tông đều đạt mức chống thấm yêu cầu của bê tông dùng cho các công trình xây dựng có mức chống thấm từ W6 đến W12. Khi hàm lượng cốt liệu nhựa PET tái chế thay thế cốt liệu cát tự nhiên từ 1% đến 3% thì mức chống thấm của bê tông chưa có sự thay đổi so với mẫu bê tông đối chứng (đều đạt từ W6 đến W8). Khi hàm lượng nhựa PET tái chế thay thế 5% cát tự nhiên thì mức chống thấm tăng thêm 1 cấp so với mẫu bê tông đối chứng. Khi bê tông thay thế 10 đến 15% nhựa PET tái chế, kết hợp với việc sử dụng phụ gia khoáng Tro bay (CP10 và CP15) thì mức chống thấm của bê tông đạt W10 ở tuổi 28 ngày và W12 ở tuổi 90 ngày, tăng từ 1 đến 2 cấp so với bê tông đối chứng (CP0).

Như vậy, khi chế tạo bê tông sử dụng hàm lượng cốt liệu nhựa PET tái chế thay thế cát tăng lên thì mức chống thấm của bê tông tăng lên, hạn chế hiện tượng thấm nước vào bê tông, từ đó sẽ hạn chế hiện tượng xâm thực

cho bê tông, tăng tính bền cho bê tông.

3.5. Kết quả thí nghiệm độ hút nước

Để đánh giá khả năng hút và giữ nước ở bên trong bê tông ở điều kiện thường, trong nghiên cứu tiến hành xác định độ hút nước của các mẫu bê tông theo TCVN 3113:2022. Các mẫu bê tông thí nghiệm được chế tạo và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022. Sau 28 ngày tuổi thì đem sấy khô mẫu đến khối lượng không đổi và cân mẫu được khối lượng m_1 . Sau đó đun sôi mẫu từ 4÷6 giờ để mẫu bão hòa nước, vớt mẫu ra lau khô và cân chính xác đến 0.1% được khối lượng m_2 . Tính toán kết quả độ hút nước của các mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày như trong Bảng 12.

Bảng 12: Kết quả thí nghiệm độ hút nước của bê tông

TT	Cấp phối	Độ hút nước (%)
1	CP0	4.91

2	CP1	4.72
3	CP3	4.54
4	CP5	4.48
5	CP10	4.24
6	CP15	4.12

Nhận xét: Tất cả các mẫu bê tông có độ hút nước nằm trong phạm vi cho phép của bê tông nặng, điều này cho thấy cốt liệu nhựa PET ảnh hưởng không quá nhiều đến mức hút nước của bê tông. Tuy nhiên, khi hàm lượng nhựa PET thay thế cát tăng lên thì mức hút nước giảm xuống, giảm từ 3.87%, 7.54%, 8.76%, 13.65% và 16.09% tương ứng với các hàm lượng nhựa PET thay thế là 1%, 3%, 5%, 10% và 15%.

Qua đó nhận thấy, khi thiết kế bê tông sử dụng cốt liệu nhựa PET thay thế cát tự nhiên, nên kết hợp với PGK hoạt tính và hàm lượng PGSD hợp lý sẽ đạt được các yêu cầu kỹ thuật của bê tông có mức hút nước thấp và mác chống thấm rất cao, đáp ứng được yêu cầu thi công các công trình khác nhau.

4. KẾT LUẬN

Từ một số kết quả nghiên cứu, nhận thấy: Việc sử dụng rác thải nhựa PET nghiền mịn để thay thế một phần cát (*cốt liệu mịn*) trong sản xuất bê tông là rất khả thi. Bê tông cốt liệu nhựa PET có thể thay thế cát đến 10% sẽ đạt được yêu cầu về tính công tác và cường độ, cũng như tăng mác chống thấm cho bê tông. Bên cạnh đó, trong nghiên cứu tận dụng nguồn phụ gia khoáng sẵn có trong nước như *Tro bay* để sản xuất bê tông cốt liệu nhựa PET tái chế sẽ mang lại hiệu quả kinh tế cao, làm phong phú nguồn nguyên vật liệu sản xuất bê tông xanh và góp phần bảo vệ môi trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A.M. Azhdarpour, M.R. Nikoudel, M. Taheri, The effect of using polyethylene terephthalate particles on physical and strength-related properties of concrete; A laboratory evaluation, *Constr. Build. Mater.* 109 (2016) 55–62.
- [2] Albano C., Camacho N., Hernandez M., Matheus A. and Gutierrez A., Influence of content and particle size of pet waste bottles on concrete behaviour at different w/c ratios. *Waste Manage*, Vol. 29, No. 10, 2009, 2707-2716.

Tính công tác (độ sụt) của hỗn hợp bê tông giảm khi sử dụng cốt liệu nhựa PET so với mẫu bê tông không sử dụng cốt liệu nhựa PET, hàm lượng cốt liệu nhựa thay thế cát tăng lên thì tính công tác của HHTB giảm xuống. Về cường độ bê tông tăng lên khi hàm lượng cốt liệu nhựa PET thay thế cát tự nhiên khoảng gần 10%; khi hàm lượng cốt liệu nhựa PET thay thế tăng lên, thì cường độ của bê tông có xu hướng giảm xuống. Tận dụng nguồn rác thải nhựa làm *cốt liệu mịn* cho bê tông cần được nghiên cứu và đưa vào áp dụng thực tế nhiều hơn, nhằm tận dụng vật liệu thải để giảm giá thành công trình, làm phong phú thêm nguồn cốt liệu trong tương lai.

Hàng năm lượng rác thải nhựa ra ngoài môi trường hàng chục triệu tấn, cần phải nghiên cứu sử dụng nguồn nguyên liệu này làm cốt liệu mịn thay thế cát để sản xuất bê tông là tiết kiệm nguồn tài nguyên thiên nhiên, biến vật liệu thải thành nguồn nguyên liệu có giá trị, tiết kiệm chi phí xử lý chất thải và bảo vệ môi trường. Bên cạnh đó, cần thiết phải chủ động và sử dụng hiệu quả về công nghệ nghiền để sản xuất cốt liệu nhựa PET cũng như các loại rác thải nhựa khác làm cốt liệu cho bê tông. Cốt liệu nhựa dùng thay thế cốt liệu tự nhiên còn chưa được nghiên cứu nhiều trong sản xuất bê tông, vì những lo ngại về vấn đề môi trường, vì vậy cần thí nghiệm và kiểm soát nghiêm ngặt hơn nữa về vấn đề môi trường mà bê tông cốt liệu nhựa có thể gây tác động đến môi trường nước và môi trường xây dựng.

- [3] Ashwini L., Jayaseelan D. Reuse of plastic waste as a replacement of sand in concrete. *International Journal of Advanced Research in Basic Engineering Sciences and Technology*, Vol. 5, No. 7, 2019, 2456-5717.
- [4] ASTM C1138:05, *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method)*.
- [5] ASTM C494-86: *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.
- [6] ASTM C494-86: *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.
- [7] Choi Y.W., Moon D.J., Chung J.S. and Cho S.K. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement Concrete Research*, Vol. 35, No. 4, 2005, 776-781.
- [8] E. Rahmani, M. Dehestani, M.H.A. Beygi, H. Allahyari, I.M. Nikbin, On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles, *Constr. Build. Mater.* 47 (2013) 1302-1308.
- [9] Foti, D., 2019. Recycled waste PET for sustainable fiber-reinforced concrete. In: *Use of Recycled Plastics in Eco-Efficient Concrete*. Woodhead Publishing, pp. 387-410.
- [10] Hama S.M., Hilal N.N. Fresh properties of self-compacting concrete with plastic waste as partial replacement of sand. *International Journal of Sustainable Built Environment*, Vol. 6, No. 2, 2017, 299-308.
- [11] Kolahapure B.K., Chavan A., Irshad A., Amar B., Patel H. Eco- friendly concrete by partial replacement of sand by shredded pieces of pet plastic bottles. *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 5, 2018, 1259-1263.
- [12] Lee, Z.H., Paul, S.C., Kong, S.Y., Susilawati, S., Yang, X., 2019. Modification of waste aggregate PET for improving the concrete properties. *Adv. Civil Eng.* 2019, 6942052. doi:10.1155/2019/6942052.
- [13] Ragaert, K., Delva, L., Van Geem, K., 2017. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Manage.* 69, 24-58.
- [14] Rahmani E., Dehestani M., Beygi M., Allahyari H. and Nikbin I. On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. *Construction and Building Materials*, Vol. 47, 2013, 1302-1308.
- [15] Saikia N., Brito J. Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, Vol. 52, 2014, 236-244.
- [16] Saikia N. and de Brito J. Waste Polyethylene Terephthalate as an Aggregate in Concrete. *Materials Research*, Vol. 16, No. 2, 2013, 341- 350.
- [17] TCVN 10302:2014: *Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng*.
- [18] TCVN 6260:2009: *Xi măng Poóc lăng hỗn hợp - Yêu cầu kỹ thuật*.
- [19] TCVN 3105:2022: *Hỗn hợp bê tông và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử*.
- [20] TCVN 3106:2007: *Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt*.
- [21] TCVN 3118:2022: *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén*.
- [22] TCVN 4506:2012: *Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*.
- [23] TCVN 6016:1995: *Xi măng - phương pháp thử - xác định độ bền*.
- [24] TCVN 7570:2006: *Cốt liệu cho bê tông và vữa. Yêu cầu kỹ thuật*.
- [25] TCVN 7572:2006: *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử*.
- [26] TCVN 8218:2009, *Bê tông thủy công - Yêu cầu kỹ thuật. Hydraulic concrete - Technical requirements*.
- [27] TCVN 8826:2011: *Phụ gia hóa học cho bê tông*.
- [28] TCVN 9139:2012, *Công trình Thủy lợi - Kết cấu bê tông, bê tông cốt thép vùng ven biển - Yêu cầu kỹ thuật*.
- [29] Thomas, A., et al., 2009. Estimating carbon dioxide emissions for aggregate use. *Eng. Sustain.* 162 (ES2), 81-89.
- [30] Thoneycroft J., Orr J., Savoikar P., Ball R. J., Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand. *Construction and Building*

Materials, Vol. 161, 2018, 63-69.