



EFFECT OF RECYCLED PET BOTTLES ON THE MECHANICAL PROPERTIES IN CONCRETE CONTAINING GRINDING PET PARTICLES

Nguyen Dinh Hai^{1*}, Nguyen Tien Dung¹, Tran Anh Tuan¹, Vu Ba Thanh¹,
Le Thu Trang¹, Nguyen Van Thanh²

¹University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

²Bac Ninh Department of Transport, No 16 Nguyen Phi Y Lan, Bac Ninh, Bac Ninh, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 17/09/2021

Revised: 12/10/2021

Accepted: 26/10/2021

Published online: 15/12/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.9.2>

* *Corresponding author*

Email: nguyendinhhai.1986@utc.edu.vn

Abstract. The mechanical behavior of concrete with recycled bottles made of Polyethene Terephthalate (PET) is important factor in Concrete with Waste Recycled Plastic. In this paper, influences of 10%, 15% and 20% substitution of concrete with particles PET produced by grinding by volume have been considered. For this purpose, prism and cylindrical specimens with different contents of PET flakes to replace concrete by volume were manufactured and the workability of fresh concrete was evaluated. Results showed higher volume proportion of PET lead to lower workability of fresh concrete, with the content of PET flakes replacing concrete from 10% to 15%, the slump flow reduced by 7% and 36% respectively. Concrete with PET particles indicated a decreasing trend in compressive strength, splitting tensile strength and modulus of elasticity with respect to conventional concrete. Specifically, when replacing concrete by 10%, 15%, and 20% of PET flakes, the compressive strength values decreased by 35%, 41%, and 51%; the flexural tensile strength is reduced by 9.2%, 16.45%, and 19.8%; and the modulus of elasticity is reduced by 18.38%, 20.32%, and 26.12% respectively. On the other hand, unit weight test demonstrated concrete containing PET particles is lighter than conventional concrete.

Keywords: Concrete, mechanical properties, recycled bottle made of PET.

© 2021 University of Transport and Communications



ẢNH HƯỞNG CỦA NHỰA PET TÁI CHẾ TỪ CHAI NHỰA ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA BÊ TÔNG

Nguyễn Đình Hải^{1*}, Nguyễn Tiến Dũng¹, Trần Anh Tuấn¹, Vũ Bá Thành¹, Lê Thu Trang¹, Nguyễn Văn Thanh²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Sở Giao thông vận tải tỉnh Bắc Ninh, Số 16 Nguyễn Phi Ý Lan, TP Bắc Ninh, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 17/09/2021

Ngày nhận bài sửa: 12/10/2021

Ngày chấp nhận đăng: 26/10/2021

Ngày xuất bản Online: 15/12/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.9.2>

* Tác giả liên hệ

Email: nguyendinhhai.1986@utc.edu.vn

Tóm tắt. Đặc trưng cơ học của bê tông sử dụng rác thải tái chế được băm từ chai nhựa PET (PolyEthylene Terephthalate) phế thải là tham số quan trọng cần nghiên cứu. Trong bài báo này, ảnh hưởng của việc thay thế bê tông bởi 10, 15, 20% mảnh PET băm theo thể tích sẽ được thực hiện. Để xác định được ảnh hưởng này, nghiên cứu đã tiến hành đúc các mẫu hình lăng trụ và lập phương với các hàm lượng mảnh PET thay thế bê tông theo thể tích khác nhau và xác định tính công tác của các hỗn hợp bê tông. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi hàm lượng PET tăng lên thì tính công tác của hỗn hợp CWRP giảm xuống, với các hàm lượng mảnh PET thay thế bê tông là 10% đến 15% thì độ chảy lan giảm 7% và 36%. Khi bê tông đã đóng rắn, thực nghiệm cho thấy các giá trị cường độ chịu nén, chịu ép chèn và mô đun đàn hồi có xu hướng giảm. Cụ thể khi thay thế bê tông bởi 10%, 15% và 20% mảnh PET thì các giá trị cường độ chịu nén giảm 35%, 41%, và 51%; cường độ chịu kéo khi uốn giảm 9,2% ; 16,45% và 19,8%; và mô đun đàn hồi giảm 18,38% ; 20,32% và 26,12% tương ứng. Đồng thời nghiên cứu cũng cho thấy khối lượng thể tích của bê tông sử dụng PET nhỏ hơn của mẫu đối chứng do khối lượng riêng của PET nhỏ hơn so với bê tông đối chứng.

Từ khóa: bê tông, tính chất cơ học, mảnh nhựa PET tái chế

© 2021 Trường Đại học Giao thông Vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhựa hay chất dẻo tổng hợp là sản phẩm không có sẵn trong tự nhiên mà do con người tạo ra, với một số loại phổ biến như PP, PE (HDPE), PS, PVC, PET, ABS...vv. Chúng có thời

gian phân hủy rất lâu, có thể kéo dài đến cả trăm, ngàn năm (chai nhựa mất tới 450 – 1000 năm mới phân hủy, ống hút nhựa và túi nilon thì phải mất tới 100 – 500 năm...). Rác thải nhựa là những sản phẩm nhựa sau khi đã sử dụng và được thải ra môi trường như: Túi nhựa, chai nhựa, ống hút nhựa, các loại chất dẻo tổng hợp [1,2]. Do tính tiện lợi của nó mà nhựa được sử dụng ngày càng phổ biến trong mọi lĩnh vực của đời sống đặc biệt là trong lĩnh vực đóng gói, dẫn tới một khối lượng khổng lồ phế thải nhựa sau khi đã sử dụng được thải vào môi trường và gây ô nhiễm môi trường trầm trọng [1, 2]. Vì vậy việc xử lý rác thải nhựa nhằm giảm thiểu tác động của chúng đến đời sống của con người cũng như môi trường tự nhiên là vấn đề cấp thiết cần phải được thực hiện. Có nhiều biện pháp xử lý được đề xuất như chôn lấp, tái sử dụng, đốt bỏ, dùng làm chậu trồng cây... [3]. Bên cạnh các giải pháp truyền thống để xử lý phế thải nhựa như các biện pháp nêu trên, trên cơ sở các đặc tính cơ lý của các loại nhựa phế thải như: không phân huỷ sinh học, khá bền trong môi trường trước tác động hoá học, khối lượng riêng nhỏ, độ dẫn nhiệt nhỏ...[4] thì một số nghiên cứu gần đây đã đề xuất đưa nhựa phế thải dưới nhiều hình thức khác nhau vào trong thành phần của bê tông xi măng, qua đó một loại bê tông mới được ra đời với tên gọi “bê tông xi măng sử dụng vật liệu nhựa phế thải” với tên tiếng anh là “Concrete with Waste Recycled Plastic” và được viết tắt là CWRP. Việc đưa nhựa phế thải vào trong bê tông đã góp một phần vào việc đảm bảo giảm thiểu phát thải nhựa ra môi trường đồng thời cải thiện được một số đặc tính cho bê tông như giảm khối lượng thể tích của bê tông, tăng cường khả năng cách âm, cách nhiệt ... [4 - 19]. Cụ thể như trong nghiên cứu [4, 12] nhờ sử dụng cốt liệu nghiền nhựa phế thải để giảm hệ số dẫn nhiệt của bê tông giúp giảm năng lượng sử dụng trong toà nhà đồng thời cải thiện khả năng cách âm của vật liệu. Trong nghiên cứu [10] đã sử dụng cốt liệu nhựa mịn để chế tạo bê tông tự đầm. Nghiên cứu [18] đã sử dụng sợi cắt từ túi ni long tăng cường được khả năng chịu kéo khi uốn của bê tôngvv.

Trong số các dạng nhựa phế thải, qua nghiên cứu đã thấy được rằng mảnh nhựa PET được băm từ các chai lọ nhựa phế thải PET là phù hợp hơn cả để đưa vào thành phần bê tông trên cơ sở các tính chất cơ lý của PET cũng như mức độ phổ biến của chai PET và sự giản đơn trong phương thức chế tạo mảnh PET băm. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định ảnh hưởng của hàm lượng nhựa PET phế thải đến tính công tác của hỗn hợp CWRP, cường độ chịu nén, chịu kéo khi uốn, mô đun đàn hồi và khối lượng thể tích của CWRP ở 28 ngày tuổi.

Nghiên cứu này được trình thành 4 phần: Phần 2 trình bày các vật liệu chế tạo và phương pháp thí nghiệm, phần 3 trình bày các kết quả thực nghiệm và các phân tích, trong phần cuối cùng nghiên cứu sẽ đưa ra một số kết luận và kiến nghị.

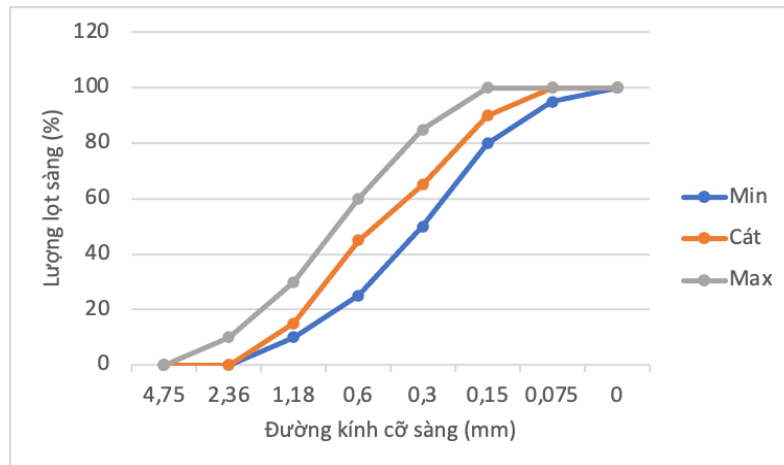
2. VẬT LIỆU CHẾ TẠO VÀ PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu chế tạo

Vật liệu được dùng trong nghiên cứu gồm:

- Xi măng Pooelăng Bút Sơn PC40 thoả mãn TCVN 2682 [20].
- Cát vàng sông Lô có thành phần hạt thoả mãn tiêu chuẩn ASTM C33 [21] xem Hình 1.
- Tro bay Phả Lại loại F có các yêu cầu kỹ thuật thoả mãn TCVN 10302 :2014 [22].
- Nước sử dụng để nhào trộn bê tông đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật quy định trong TCVN 4506-2012 [23].

- Phụ gia siêu dẻo SIKAMENT NN.



Hình 1. Đường biểu diễn thành phần hạt của cát theo ASTM C33.

2.2. Quy trình sản xuất cốt liệu PET và một số đặc tính kĩ thuật

- + Thu thập các chai nhựa có nguồn gốc PET
- + Cho chai vào hệ thống máy cắt thô thu được các mảnh PET thô
- + Cho các mảnh PET thô vào máy cắt tinh xay trong vòng 1h và sàng qua sàng có kích thước mắt sàng 10 mm.
- + Rửa sạch các mảnh PET băm
- + Sấy/phơi khô cốt liệu mảnh PET băm
- + Mảnh PET có kích thước từ 5 đến 10 mm chiều dày 0,2mm
- + Mảnh PET có khối lượng riêng $1,11\text{g/cm}^3$



Hình 2. Mảnh PET băm.

2.3. Thiết kế thành phần

Bê tông CWRP sử dụng mảnh PET băm được thiết kế trên bê tông đối chứng là bê tông hạt nhỏ với cường độ chịu nén mục tiêu của bê tông đối chứng đạt trên 40MPa. Thành phần của bê tông hạt nhỏ được thiết kế dựa trên phương pháp độ đặc tuyệt đối [24-26] kết hợp với thực nghiệm điều chỉnh. Sau khi tính toán nghiên cứu đề xuất 4 công thức thành phần bê tông

CWRP với hàm lượng thay thế PET theo thể tích bê tông lần lượt là 0%, 10%, 15% và 20% như ở bảng 1 dưới đây

Bảng 1. Công thức thành phần của bê tông CWRP.

Bê tông CWRP	0% PET	10% PET	15% PET	20% PET
Xi măng PC40 (kg)	475	475	475	475
Cát (kg)	1418	1147	1012	876
Tro bay (kg)	95	95	95	95
Mảnh PET (kg)	0	120	180	240
Nước (lít)	255	255	255	255
PGSD (lít)	5,7	5,7	5,7	5,7
Khối lượng thể tích tính toán (kg/m ³)	2250	2099	2023	1948

2.3 Phương pháp thực nghiệm

- Tính công tác của hỗn hợp CWRP được xác định bằng độ chảy lan côn bằng mini theo TCVN 3121 [27].

- Sau khi nhào trộn ta tiến hành đúc các mẫu lăng trụ có kích thước 100x100x400mm và mẫu hình trụ có kích thước 15x30cm. Mặt các mẫu được bọc film để tránh thoát hơi nước. Các mẫu được tháo khuôn 24 giờ sau khi đổ và bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn cho đến ngày thí nghiệm.

- Cường độ chịu kéo khi uốn của CWRP được xác định theo TCVN 3119-1993 với các mẫu lăng trụ hình chữ nhật có kích thước 100x100x400mm [28].

- Cường độ chịu nén của CWRP được xác định theo TCVN 3118 [29] với các mẫu hình trụ 15x30 cm

- Mô đun đàn hồi của CWRP được xác định theo ASTM C469M [30]

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

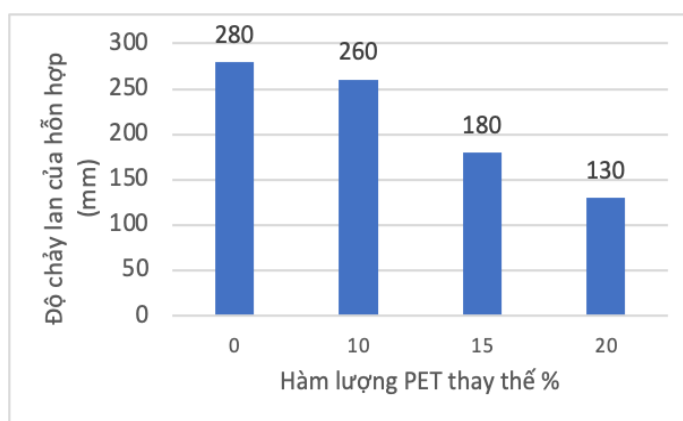
3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến tính công tác của hỗn hợp CWRP

Các kết quả thí nghiệm ảnh hưởng của hàm lượng mảnh PET thay thế đến tính công tác của hỗn hợp CWRP được trình bày ở hình 3 và đồ thị hình 4 dưới đây.



Hình 3. Thực nghiệm xác định ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến tính công tác của.

hỗn hợp CWRP.



Hình 4. Ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến tính công tác của hỗn hợp CWRP.

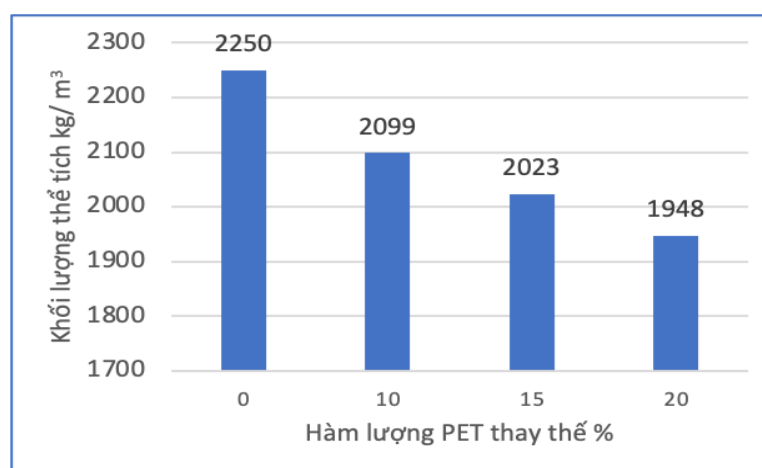
Bảng 2. Kết quả thực nghiệm ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến tính công tác của hỗn hợp CWRP.

Hàm lượng PET thay thế (%)	0	10	15	20
Tính công tác (mm)	280	260	180	130
Loại thí nghiệm	Chảy lan	Chảy lan	Chảy lan	Bàn rằn

Nhìn vào biểu đồ hình 4 và bảng 2 ta thấy khi hàm lượng PET thay thế bê tông càng lớn thì tính công tác của hỗn hợp CWRP càng có xu hướng giảm. Khi thay thế bê tông bởi 10% PET thì độ chảy lan giảm khoảng 7%, khi hàm lượng PET thay thế tăng lên 15 thì độ chảy lan giảm 36%. Khi hàm lượng mảnh PET tăng lên đến 20% thì hỗn hợp không tự chảy được nữa mà phải xác định tính công tác trên bàn rằn và kết quả đo được đạt 130mm. Điều này cho thấy khi thay thế khoảng 10% PET thì hỗn hợp CWRP vẫn đảm bảo tính công tác cao.

3.2 Ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến khối lượng thể tích của CWRP

Các kết quả ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến khối lượng thể tích của CWRP được thể hiện ở biểu đồ hình 5 dưới đây :

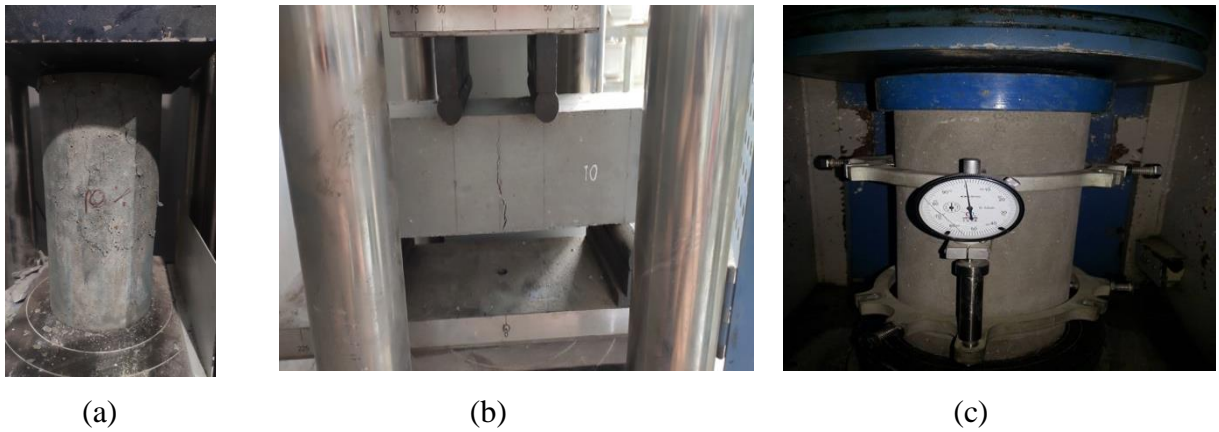


Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến khối lượng thể tích (kg/ m³) của CWRP.

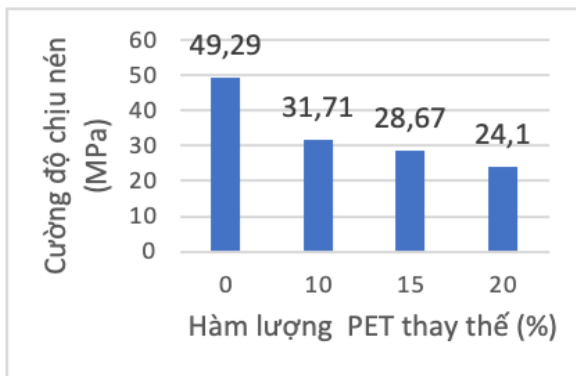
Quan sát biểu đồ hình 5 ta thấy rằng khi hàm lượng PET thay thế tăng thì khối lượng thể tích của CWRP giảm cụ thể khi thay thế lần lượt bê tông đối chứng bởi 10, 15 và 20% theo thể tích bởi mảnh PET thì khối lượng thể tích của CWRP giảm lần lượt là 6,7% ; 10,1% và 13,4%. Điều này cho thấy khi hàm lượng PET càng tăng thì CWRP càng nhẹ.

3.3 Ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến cường độ chịu nén, kéo khi uốn và mô đun đàn hồi của CWRP

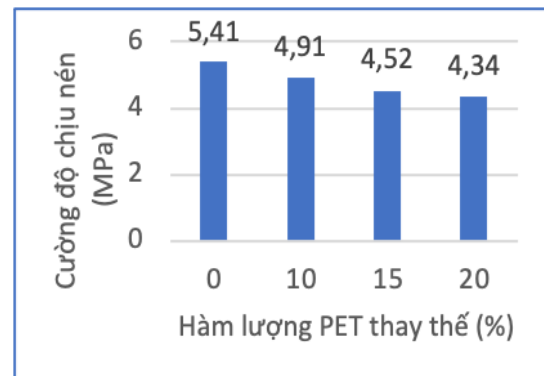
Thí nghiệm và các kết quả thực nghiệm cường độ chịu nén, kéo uốn và mô đun đàn hồi của CWRP với các hàm lượng mảnh PET thay thế khác nhau được thể hiện ở các biểu đồ từ hình 6 đến hình 12 dưới đây



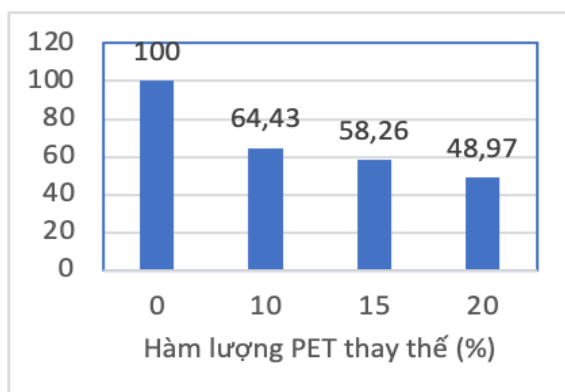
Hình 6. Thí nghiệm xác định Cường độ chịu nén (a), Cường độ chịu kéo khi uốn (b) và mô đun đàn hồi (c) của CWRP.



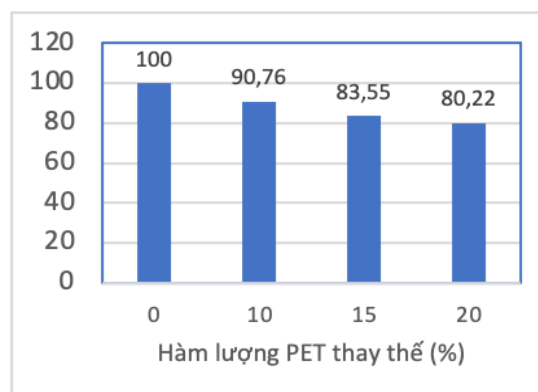
Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến R_n ở 28 ngày của CWRP.



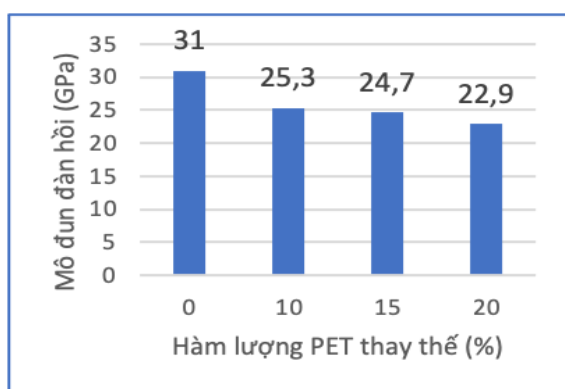
Hình 8. Ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến R_{ku} ở 28 ngày của CWRP.



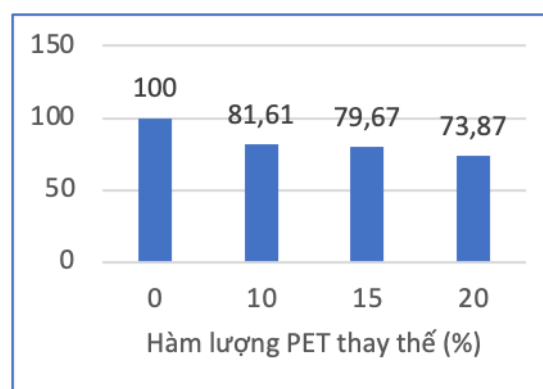
Hình 9. Mức độ suy giảm R_n của CWRP so với mẫu đối chứng.



Hình 10. Mức độ suy giảm R_{ku} của CWRP so với mẫu đối chứng.



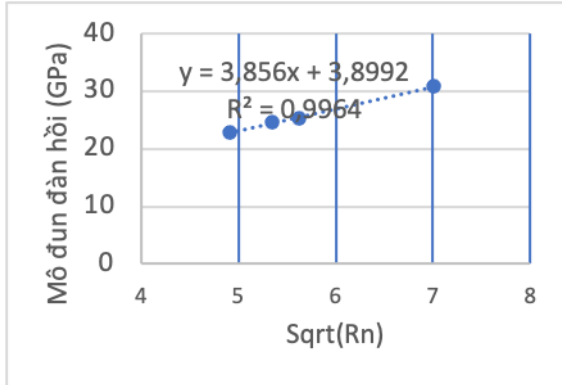
Hình 11. Ảnh hưởng của hàm lượng PET thay thế đến mô đun đàn hồi của CWRP.



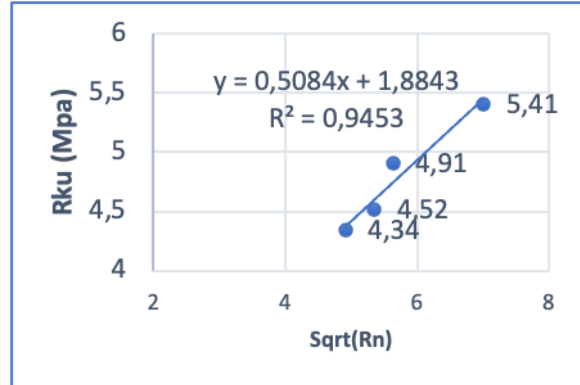
Hình 12. Mức độ suy giảm mô đun đàn hồi của CWRP so với mẫu đối chứng.

Quan sát biểu đồ hình 7, 9, 11, 12 ta thấy ảnh hưởng rõ nét của hàm lượng mảnh PET thay thế đến cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi của CWRP, với sự có mặt của PET thì cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi của CWRP giảm rõ rệt. Cụ thể khi thay 10, 15 và 20% PET thì cường độ chịu nén giảm lần lượt là 35% ; 41% và 51% và mô đun đàn hồi giảm lần lượt là 18,38% ; 20,32% và 26,12% điều này có thể được lý giải do tính dính bám giữa PET và bê tông đối chứng là kém bền, hơn nữa khi thay thế càng nhiều mảnh PET thì khối lượng thể tích bê tông giảm do đó bê tông có nhiều bọt khí hơn dẫn tới suy giảm về hai đặc tính cơ học như đã nói ở trên. Tuy nhiên đối với kết quả cường độ chịu kéo khi uốn thì mức độ ảnh hưởng của mảnh PET lại nhỏ hơn, cụ thể cường độ chịu kéo khi uốn giảm lần lượt là 9,2% ; 16,45% và 19,8% được thể hiện ở biểu đồ hình 8 và 10. Điều này có thể được lý giải do hình dạng của mảnh PET có dạng tấm theo không gian hai chiều gần tương đương với dạng sợi nên hạn chế được mức độ suy giảm R_{ku} của CWRP.

Quan hệ giữa giá trị mô đun đàn hồi và cường độ chịu kéo khi uốn so với cường độ chịu nén của CWRP được trình bày ở biểu đồ hình 13 và hình 14.



Hình 13. Quan hệ giữa mô đun đàn hồi và căn bậc hai của cường độ chịu nén của CWRP.



Hình 14. Quan hệ giữa cường độ chịu kéo khi uốn và căn bậc hai của cường độ chịu nén của CWRP.

Thông qua đó ta có thể đề xuất công thức xác định mô đun đàn hồi thông qua giá trị cường độ chịu nén của CWRP như sau

$$E = 3,586\sqrt{R_n} + 3,899(GPa) \quad (1)$$

và công thức cường độ chịu kéo khi uốn của CWRP khi biết giá trị cường độ chịu nén của nó :

$$R_{ku} = 0,5084\sqrt{R_n} + 1,8843(MPa) \quad (2)$$

Với hệ số tương quan của hai công thức trên đạt lần lượt 0,996 và 0,945.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Thông qua các kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng mảnh nhựa PET bằm thay thế bê tông xi măng ta có thể thấy rằng với sự xuất hiện của mảnh PET bằm sẽ làm suy giảm tính công tác của hỗn hợp CWRP do hình dạng mảnh 2 chiều gây khó khăn cho công tác nhào trộn hỗn hợp. Sự có mặt của mảnh PET với hàm lượng thay thế bê tông là 10%, 15% và 20% đã làm giảm các tính năng cơ học như cường độ chịu nén với tỷ lệ lần lượt là 35% ; 41% và 51%, cường độ chịu kéo khi uốn giảm 9,2% ; 16,45% và 19,8% và mô đun đàn hồi của CWRP giảm 18,38% ; 20,32% và 26,12%. Sự suy giảm này có thể được lý giải bởi đặc tính bề mặt trơn nhẵn làm giảm khả năng dính bám giữa mảnh PET và bê tông. Tuy nhiên khi hàm lượng PET tăng lên thì tính nhẹ của bê tông lại được cải thiện điều này có thể dẫn tới tăng cường các khả năng cách âm cách nhiệt ở CWRP. Thông qua các kết quả thí nghiệm khảo sát được ở trên nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng hàm lượng PET thay thế ở mức 10% theo thể tích bê tông vẫn đảm bảo đồng thời tính công tác, cường độ chịu nén, kéo khi uốn và mà vẫn giảm được khối lượng thể tích của hỗn hợp CWRP đáp ứng nhu cầu thi công và chịu lực của bê tông khi ở trong kết cấu xây dựng. Nghiên cứu cũng đã đề xuất được các công thức thực nghiệm cho phép dự báo xác định mô đun đàn hồi , cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông CWRP khi biết được giá trị cường độ chịu nén của loại bê tông này.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông Vận tải (ĐH GTVT) trong đề tài mã số T2021-XD-008.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J.R. Jambeck et al, Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347 (2015) 768-771.
- [2]. European Commission 2011, *Plastic Waste: Ecological and Human Health Impacts*, 2011.
- [3]. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2016, Chuyên đề Môi trường đô thị, NXB Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2016.
- [4]. Artid Poonyakan, Manaskorn Rachakornkij, Methi Wecharatana, Watanachai Smittakorn, Potential Use of Plastic Wastes for Low Thermal Conductivity Concrete, *Environmentally Friendly Renewable Materials*, 11 (2018) 1938 – 1048. <https://doi.org/10.3390/ma11101938>.
- [5]. Adewumi John Babafemi, Branko Savija, Suvash Chandra Paul, Vivi Anggraini, Engineering Properties of Concrete with Waste Recycled Plastic: A Review, *Sustainability*, 10 (2018) 1-26. <https://doi.org/10.3390/su10113875>.
- [6]. A. Bhogayata, K. D. Shah, B. A. Vyas, Dr. N. K. Arora, Performance of concrete by using Non Recyclable plastic wastes as concrete constituent, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4 (2012) 1-3.
- [7]. C. Albano, N. Camacho, M. Hernández, A. Matheus, A. Gutiérrez, Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios, *Waste Management*, 29 (2009) 2707–2716.
- [8]. Muhammad Maqbool Sadiq, Muhammad Rafique Khattak, Literature Review on Different Plastic Waste Materials Use in Concrete, *JETIR*, 2.6, June 2015.
- [9]. E. Rahmani, M. Dehestani, M.H.A. Beygi, H. Allahyari, I.M. Nikbin, On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles, *Construction and Building Materials*, 47 (2013) 1302–1308. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.041>.
- [10]. Faisal Sheikh Khalid, Nurul Bazilah Azmi, Puteri Natasya Mazenan, Shahiron Shahidan, Nor hazurina Othman, Nickholas Anting Anak Guntor, Self-Consolidating Concretes Containing Waste PET Bottles as Sand Replacement, *AIP Conference Proceedings*, 1930 (2018) 020034. <https://doi.org/10.1063/1.5022928>
- [11]. Khilesh Sarwe, Study of Strength Property of Concrete Using Waste Plastics and Steel Fibers, Department of Civil Engineering, Jabalpur Engineering College, Jabalpur, India, *The International Journal of Engineering and Science*, 3 (2014) 09-11.
- [12]. M. Elzafraney, P. Soroushian, M. Deru, Development of energy Efficient Concrete Buildings Using Recycled Plastic Aggregate, *Journal of Architectural Engineering*, 11 (2005).
- [13]. Praveen Mathew, Shibi Varghese, Thomas paul, Eldho Varghese, Recycled Plastic as Coarse Aggregate for Structural Concrete, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2 (2013) 687 – 690.
- [14]. P. Suganthy, Dinesh Chandrasekar, P. K. Sathish Kumar, Utilization of Pulverized Plastic in Cement Concrete as Fine Aggregate, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2 (2013) 1015 – 1019.
- [15]. Pramod S. Patil, J.R.Mali, Ganesh V. Tapkire, H. R. Kumavat, Innovative Techniques of Waste Plastic Used in Concrete Mixture, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3 (2014) 29 -32.
- [16]. M. Raghatate Atul, Use of plastic in a concrete to improve its properties, *International journal of Advance engineering Research and studies*, 9 (2019) 4406 - 4412.
- [17]. Yun-Wang Choi, Dae-Joong Moon, Jee-Seung Chung, Sun-Kyu Cho, Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete, *Cement and Concrete Research*, 35 (2005) 776–781.
- [18]. Youcef Ghernouti, Bahia Rabehi, Brahim Safi, Rabah Chaid, Use Of Recycled Plastic Bag Waste In The Concrete, *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies*, 8 (2015).

- [19]. Zainab Z. Ismail, Enas A. AL Hashmi, Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. Department of Environmental Engineering, college of Engineering, University of Baghdad, Iraq, 2 (2008) 2041 – 2047. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.023>
- [20]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 2682 – Xi măng Poóc Lãng– Yêu cầu kỹ thuật, Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2009.
- [21]. ASTM C 33 – 03, Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, 2003.
- [22]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 10302 – Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông và vữa xây dựng, Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2014.
- [23]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 4506– Nước trộn bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật, Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2012.
- [24]. Phạm Duy Hữu, Đào Văn Đông, Phạm Duy Anh, Nguyễn Tiến Dũng, Nguyễn Đình Hải, Vật liệu mới trong xây dựng công trình giao thông, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, 2018.
- [25]. Nguyễn Đình Hải, Nghiên cứu quy trình bảo dưỡng bê tông tính năng siêu cao – UHPC trong điều kiện Việt Nam, Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường 2017, Đại học Giao thông Vận tải, 2018.
- [26]. Sablocrete, Bétons de Sable, Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 1994.
- [27]. Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 3121, Vữa xây dựng – phương pháp thử, Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2003.
- [28]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 3119 – 1993, Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn, Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội, 1993.
- [29]. Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 3118 – 1993, Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ chịu nén. Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà Nội, 1993.
- [30]. ASTM C469 – 94, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.