

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG NHỰA PET PHẾ THẢI TRONG SẢN XUẤT BÊ TÔNG XI MĂNG MÁC 35 VÀ 40MPa

UTILIZATION OF PET WASTE PLASTIC IN MANUFACTURING OF CONCRETES WITH COMPRESSIVE STRENGTH OF 35 AND 40 MPa

Hồ Viết Thắng^{1*}, Phạm Cẩm Nam¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ: hvthang@dut.udn.vn

(Nhận bài: 05/10/2020; Chấp nhận đăng: 21/11/2020)

Tóm tắt - Việc xử lý rác thải nhựa polyethylene 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 cát trong sản xuất bê tông mác 35 và 40 MPa. Hỗn hợp bê tông và bê tông của mẫu chuẩn (không sử dụng nhựa PET), và của các mẫu có nhựa PET thay thế cát với tỉ lệ từ 2-10% trọng lượng được đánh giá và kiểm tra các đặc tính về độ sụt, cường độ nén và độ hút nước. Kết quả cho thấy có thể sử dụng nhựa PET thay thế cát đến 9% trọng lượng trong cấp phối bê tông mà vẫn đảm bảo được các yêu cầu kỹ thuật trong xây dựng.

Từ khóa - Nhựa PET; hỗn hợp bê tông; bê tông; 35 MPa; 40 MPa

1. Đặt vấn đề

Hiện nay cứ mỗi phút trên thế giới có một triệu chai nước uống bằng nhựa PET được con người sử dụng và thải ra môi trường. Rác thải nhựa này hiện nay chủ yếu là chôn lấp và chưa có biện pháp xử lý hiệu quả. Do đó, nó đang gây ra những tác động tiêu cực đến môi trường sống và sức khỏe con người, cũng như sự phát triển bền vững của mỗi quốc gia vì phải mất hàng triệu năm mới phân hủy rác thải nhựa. Tại Việt Nam, mỗi năm phát sinh 2,5 triệu tấn chất thải nhựa và là nước đứng thứ tư trên thế giới về lượng rác thải nhựa ra biển, với khoảng từ 0,28 đến 0,73 triệu tấn mỗi năm (tương đương với 6% tổng lượng rác thải nhựa thải ra biển trên toàn thế giới) [1]. Do đó, việc tái sử dụng nhựa phế thải là vấn đề hết sức cấp bách và thiết thực góp phần bảo vệ môi trường.

Với tốc độ đô thị hóa ngày càng tăng thì bê tông xi măng là loại vật liệu được sử dụng rất nhiều trong các công trình xây dựng. Bê tông được sản xuất từ các loại cốt liệu lớn (đá, sỏi), cốt liệu bé (cát), chất kết dính (xi măng), nước và có thể có sử dụng thêm phụ gia. Việc khai thác liên tục một lượng lớn các loại nguyên liệu thiên nhiên để sản xuất bê tông sẽ gây tác động nghiêm trọng đến môi trường chẳng hạn như việc khai thác cát dưới lòng sông làm biến đổi dòng chảy, gây sạt lở bờ sông... Do vậy, việc tìm kiếm nguồn nguyên liệu thay thế cho các nguồn nguyên liệu tự nhiên là hết sức cấp bách, nhằm hạn chế khai thác nguyên liệu thiên nhiên.

Abstract - The disposal of polyethylene terephthalate (PET) plastic waste is an urgent problem because it is taking into account a large amount and is causing serious harm to the environment. Many strategies are taken to recycle this waste, in which the utilization of waste plastic as construction materials is a suitable way, this is due to reducing the impact on the environment and reducing the exploitation of natural resources. Therefore, this study uses PET waste from disposable drinking water bottles to partially replace natural sand in production of concrete with compressive strength of 35 and 40 MPa. The fresh concrete and hardened concrete of the reference sample (without the use of PET plastic), and of the samples using PET plastic substituting sand from 2 to 10% by weight were evaluated and tested for slump, compressive strength and water absorption. The results show that it is possible to use PET plastic to replace natural sand up to 9% by weight in concrete mixtures in which the technical standards are still meet in construction.

Key words - PET plastic; fresh concrete; hardened concrete; 35 MPa; 40 MPa

Như vậy, rác thải nhựa và khai thác tài nguyên thiên nhiên làm vật liệu xây dựng đều gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái và môi trường sống. Do đó, việc tái sử dụng nhựa phế thải để làm vật liệu xây dựng là một trong những hướng đi được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Nhiều công trình nghiên cứu đã sử dụng nhựa thay thế cho một phần cốt liệu tự nhiên trong sản xuất bê tông [2-7]. Kết quả thử nghiệm cho thấy, các tính chất kỹ thuật của hỗn hợp bê tông và bê tông vẫn đảm bảo khi thay thế một phần cốt liệu tự nhiên bằng nhựa phế thải.

Hama S.M., Hilal N.N. [2] đã sử dụng nhựa phế thải từ nhiều nguồn khác nhau với các kích thước nhựa nhỏ hơn 1mm, và từ 1mm đến 4mm thay thế một phần cát trong cấp phối bê tông tự lên. Kết quả cho thấy, có thể sử dụng đến 12,5% nhựa thay thế cát mà vẫn đảm bảo được các yêu cầu về kỹ thuật của hỗn hợp bê tông và bê tông. Saikia N. và de Brito J. [7], đã nghiên cứu các đặc tính về cường độ của bê tông chứa ba loại cốt liệu polyethylene terephthalate (PET) tái chế. Kết quả cho thấy, sự phát triển cường độ nén của bê tông chứa các loại cốt liệu PET tương tự như bê tông không chứa cốt liệu PET, mặc dù việc sử dụng nhựa PET làm giảm đáng kể cường độ nén của bê tông tạo thành. Tuy nhiên, cốt liệu PET cải thiện tính chất dẻo dai của bê tông tạo thành. Kết quả này phụ thuộc vào hình dạng của cốt liệu PET và hàm lượng sử dụng trong bê tông.

Ngoài ra, Thoneycroft J. và cộng sự [8] đã nghiên cứu

¹ The University of Danang - University of Sciences and Technology (Ho Viet Thang, Pham Cam Nam)

sự ảnh hưởng của việc sử dụng các loại nhựa khác nhau đến cường độ chịu nén của bê tông khi thay thế 10% thành phần cát trong hỗn hợp bê tông. Các kết quả chỉ ra rằng, cường độ chịu nén của bê tông phụ thuộc vào cấu trúc, tính chất của nhựa và các loại nhựa đều có khả năng thay thế cát trong hỗn hợp bê tông. Trong số đó, tốt nhất là loại nhựa PET khi xử lý bề mặt qua nhiệt, NaOH và NaClO; HDPE có kích thước dưới 4mm; PPS với tỉ lệ thay thế 6 đến 7% cát. Tuy nhiên, nghiên cứu chỉ dừng lại ở 10% nhựa và chưa chỉ ra được sự ảnh hưởng của hàm lượng nhựa đến các tính chất cơ lý của hỗn hợp bê tông và bê tông và tác giả chỉ mới đo đạc bê tông sau 14 ngày dưỡng hộ.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả nghiên cứu sự ảnh hưởng của nhựa PET với hàm lượng nhựa thay thế một phần cát từ 2 đến 10% trọng lượng đến tính chất cơ lý của hỗn hợp bê tông và bê tông mác 35 và 40 MPa. Kết quả chỉ ra rằng, có thể thay thế cát bằng nhựa PET đến 9% trọng lượng mà vẫn đảm bảo được các đặc tính kỹ thuật của bê tông.

2. Nguyên liệu và thực nghiệm

2.1. Nguyên liệu

Nguyên liệu được sử dụng trong nghiên cứu này gồm xi măng Đồng Lâm PCB40, cát Đại Lộc, Đá dăm Đà Sơn, nhựa Polyethylene terephthalate (PET) phế thải và phụ gia hóa dẻo Lotus R301. Trước khi tính cấp phối cho hỗn hợp bê tông, nguyên vật liệu phải kiểm tra các tính chất cơ lý theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6260:2009 [9] đối với xi măng, TCVN 1770:1986 [10] đối với cát và TCVN 1771:1987 [11] đối với đá dăm. Các tính chất cơ lý của xi măng Đồng Lâm PCB40, cát Đại Lộc và đá dăm Đà Sơn hoàn toàn phù hợp theo tiêu chuẩn Việt Nam để sản xuất bê tông và đã kiểm tra ở nghiên cứu trước đây [12].

2.1.1. Nhựa Polyethylene terephthalate (PET) phế thải

Nhựa PET sử dụng trong nghiên cứu này được cắt từ từ chai nước uống sử dụng 1 lần với kích thước nhỏ hơn 5 mm và kích thước của nhựa PET phải thỏa mãn yêu cầu về thành phần cỡ hạt tương tự như cát được sử dụng trong cấp phối bê tông.

2.1.2. Phụ gia hóa dẻo

Trong nghiên cứu này, để tránh sự phân tầng trong hỗn hợp bê tông, đồng thời đảm bảo tính linh động và tính công tác của hỗn hợp bê tông nhóm tác giả sử dụng phụ gia siêu hóa dẻo Lotus-R301 [13] nhằm giảm lượng nước sử dụng trong cấp phối bê tông.

Chất lượng của phụ gia siêu hóa dẻo đã được kiểm định theo TCVN 8826 : 2011 [14] về phụ gia hóa dẻo cho bê tông.

2.1.3. Nước

Nước sử dụng trong cấp phối bê tông phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4506:2012 [15] để không ảnh hưởng đến sự đông kết và cường độ của bê tông.

2.2. Thực nghiệm

2.2.1. Phương pháp thử độ sụt

Đây là một trong những đặc tính quyết định khả năng thi công của hỗn hợp bê tông. Độ sụt của các hỗn hợp bê tông được đánh giá theo tiêu chuẩn TCVN 3106 : 1993 [16].

2.2.2. Phương pháp xác định cường độ nén

Hỗn hợp bê tông sau khi kiểm tra độ sụt đạt yêu cầu thì tiến hành đúc mẫu trong khuôn chuẩn có kích thước (150×150×150) mm³. Sau đó, mẫu bê tông được dưỡng hộ theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3015:1993 [17] và tiến hành đo cường độ nén sau 3, 7 và 28 ngày dưỡng hộ.

Cường độ nén (N/mm² hay MPa) của bê tông được tính theo công thức dưới đây:

$$R = \frac{P}{F}$$

Trong đó:

P là tải trọng phá hoại mẫu, tính bằng N;

F là diện tích chịu lực nén của viên mẫu, tính bằng mm².

2.2.3. Phương pháp xác định độ hút nước

Độ hút nước của bê tông là khả năng hút và giữ nước ở điều kiện thường, được tính bằng tỷ số lượng nước hút vào so với mẫu khô. Quy trình xác định độ hút nước theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3113 : 1993 [18].

Mẫu sau khi được sấy khô đến khối lượng không đổi, đem đi cân xác định khối lượng (m_0). Tiếp theo đem đun sôi trong nước khoảng 4 giờ để bão hòa nước, đem mẫu ra để nguội, lau sạch bề mặt mẫu rồi đem đi cân xác định khối lượng (m_1).

Độ hút nước (H, %) của mẫu được tính theo công thức:

$$H = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 (\%)$$

Trong đó:

m_1 là khối lượng mẫu sau khi sấy khô, g.

m_2 là khối lượng mẫu sau khi ngâm nước, g.

2.2.4. Cấp phối bê tông mác 35 MPa

Cấp phối bê tông mác 35MPa cơ sở (không có sử dụng nhựa phế thải) được tính toán dựa theo chỉ dẫn 778/1998/(QĐ-BXD) [19], sau đó mẫu sử dụng phụ gia Lotus-R301 được tính theo chỉ chỉ dẫn của hãng phụ gia là 0,8-1,8 Lit/100 kg xi măng [13]. Trên cơ sở cấp phối mẫu cơ sở, nhựa phế thải lần lượt thay thế cát từ 2-10%. Bảng cấp phối cho bê tông mác 35 MPa cho mỗi 1 m³ bê tông mẫu cơ sở và mẫu có nhựa phế thải lần lượt thay thế một phần cát trong hỗn hợp bê tông với tỉ lệ 2-10% được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1: Cấp phối bê tông mác 35MPa không có nhựa PET và nhựa PET phế thải thay thế cát với tỷ lệ từ 2% đến 10% trọng lượng

Mẫu	Tỷ lệ nhựa PET (%)	Nhựa PET (Kg)	XM (Kg)	Đá (Kg)	Cát (Kg)	Nước (L)	Phụ Gia (L)
M0	0	0	390	1221	892	131	3,12
M1	2	18	390	1221	874	131	3,12
M2	4	36	390	1221	857	131	3,12
M3	6	54	390	1221	839	131	3,12
M4	8	71	390	1221	821	131	3,12
M5	9	80	390	1221	812	131	3,12
M6	10	89	390	1221	803	131	3,12

2.2.5. Cấp phối bê tông mác 40 Mpa

Tương tự như tính cho cấp phối bê tông mác 35MPa,

cấp phối bê tông mác 40 MPa sử dụng phụ gia Lotus-R301 cho mẻ 1 m³ bê tông, lần lượt đưa nhựa PET phế thải thay thế một phần cát trong hỗn hợp bê tông với tỉ lệ 2-10% được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Cấp phối bê tông mác 40 MPa không có nhựa PET và nhựa PET phế thải thay thế cát với tỷ lệ từ 2% đến 10% trọng lượng

Mẫu	Tỷ lệ nhựa PET (%)	Nhựa PET (Kg)	XM (Kg)	Đá (Kg)	Cát (Kg)	Nước (lít)	Phụ Gia (lít)
M0	0	0	420	1038	862	132	3,78
M1	2	17	420	1038	845	132	3,78
M2	4	34	420	1038	827	132	3,78
M3	6	52	420	1038	810	132	3,78
M4	8	69	420	1038	793	132	3,78
M5	9	78	420	1038	784	132	3,78
M6	10	86	420	1038	776	132	3,78

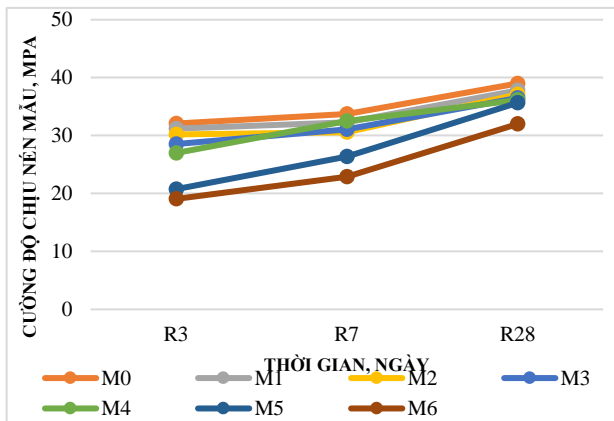
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Độ sụt và cường độ chịu nén của mẫu bê tông cấp phối mác 35 MPa

Bảng 3. Độ sụt (cm) và cường độ chịu nén (MPa) sau 3, 7 và 28 ngày dưỡng hộ của mẫu bê tông cấp phối mác 35 MPa

Mẫu	Tỷ lệ nhựa PET (%)	Độ sụt	R3	R7	R28
M ₀	0	12,5	32,08	33,70	39,00
M ₁	2	12,3	31,20	32,30	37,80
M ₂	4	12,0	30,20	30,55	37,10
M ₃	6	11,6	28,54	31,05	36,50
M ₄	8	11,0	27,00	32,50	36,13
M ₅	9	10,5	20,75	26,35	35,66
M ₆	10	10,0	19,07	22,88	32,00

Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén của các mẫu bê tông cấp phối mác 35 MPa không sử dụng nhựa và có sử dụng nhựa PET thay thế cát theo thời gian thể hiện qua đồ thị Hình 1



Hình 1. Đồ thị biểu thị mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian của mẫu cấp phối 35 MPa

Cường độ chịu nén của mẫu bê tông cấp phối mác 35 MPa khi sử dụng nhựa PET thay thế cát theo tỷ lệ từ 2% đến 10% nhỏ hơn so với mẫu không sử dụng nhựa (39 MPa) và giảm dần theo chiều tăng hàm lượng nhựa PET

(từ 37.8 MPa xuống 32 MPa). Đồng thời, độ sụt cũng giảm dần theo chiều tăng hàm lượng nhựa sử dụng từ 12.3 cm (mẫu 2% nhựa) xuống 10 cm (mẫu 10 % nhựa). Tuy nhiên, tốc độ phát triển cường độ của các mẫu bê tông hầu như không khác biệt lớn, được thể hiện trên đồ thị Hình 1 và phù hợp với nghiên cứu trước đây [7].

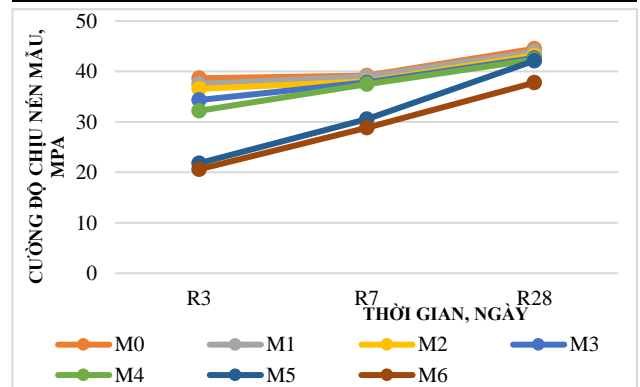
Các mẫu M1, M2, M3, M4, M5 với hàm lượng nhựa (2-9%) đạt cả về độ sụt và mác bê tông thiết kế 35 MPa. Mẫu M6 (10% nhựa PET) đạt yêu cầu về độ sụt nhưng mác 32 MPa không đạt yêu cầu về mác bê tông thiết kế (35 MPa). (Bảng 3)

3.2. Độ sụt và cường độ chịu nén của mẫu bê tông cấp phối mác 40 MPa

Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén của mẫu bê tông cấp phối mác 40 MPa không sử dụng và có sử dụng nhựa PET thay thế cát theo thời gian thể hiện qua đồ thị Hình 2.

Bảng 4. Độ sụt (cm) và cường độ chịu nén (MPa) sau 3, 7 và 28 ngày dưỡng hộ của mẫu bê tông cấp phối mác 40 MPa

Mẫu	Tỷ lệ nhựa PET (%)	Độ sụt	R3	R7	R28
M ₀	0	13,0	38,65	39,20	44,50
M ₁	2	12,5	37,54	38,99	43,92
M ₂	4	12,5	36,57	38,01	43,19
M ₃	6	12,0	34,33	37,88	42,68
M ₄	8	12,0	32,20	37,50	42,35
M ₅	9	11,5	21,80	30,56	42,13
M ₆	10	10,5	20,60	28,87	37,78



Hình 2. Đồ thị biểu thị mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian của mẫu 40 MPa sử dụng nhựa PET

Qua kết quả thể hiện ở Bảng 4 ta thấy, độ sụt của hỗn hợp bê tông khi thay thế cát bằng nhựa PET giảm nhẹ so với mẫu không có sử dụng nhựa và đạt được yêu cầu thi công từ 12 cm đến 10 cm. Tuy nhiên, cường độ chịu nén của mẫu có sử dụng nhựa giảm mạnh khi hàm lượng nhựa thay thế cát tăng dần từ 2 đến 10 %. Cụ thể các mẫu M1, M2, M3, M4, M5 với hàm lượng nhựa (2-9%) mác bê tông giảm dần từ 43,9 đến 42,1 MPa và vẫn nằm trong khoảng thiết kế 40 MPa. Tuy nhiên, khi hàm lượng nhựa thay thế cát tăng lên đến 10% (M6) thì mác bê tông giảm xuống còn 37,78 MPa nhỏ hơn mác bê tông thiết kế 40 MPa. Tương tự như các mẫu bê tông cấp phối mác 35 MPa, tốc độ phát triển cường độ của các mẫu bê tông cấp phối 40 MPa không khác biệt lớn, được thể hiện bằng các đường thẳng song song trên Hình 2.

3.3. Kết quả xác định độ hút nước của mẫu bê tông tối ưu đạt yêu cầu (SN,Rn) sử dụng phụ gia hóa dẻo và nhựa PET phế thải

Các mẫu bê tông có sử dụng nhựa PET đạt yêu cầu thiết kế về độ sụt và mác được đập nhỏ để chuẩn bị tiến hành đo độ hút nước và so sánh với mẫu bê tông không sử dụng nhựa PET (Hình 3).



Hình 3. Chuẩn bị mẫu để đo độ hút nước

Độ hút nước của mẫu bê tông có cấp phối 35MPa và 40MPa không sử dụng nhựa PET và các mẫu bê tông có sử dụng nhựa PET thay thế một phần cát được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả đo độ hút nước của các mẫu bê tông đạt yêu cầu (SN, Rn)

Mác (MPa)	Mẫu	Phần trăm nhựa PET (%)	Độ hút nước (%)
35	M0	0	4,65
	M5	9	4,36
40	M0	0	4,34
	M5	9	4,24

Từ Bảng 5 ta có thể thấy, độ hút nước của mẫu bê tông có sử dụng nhựa PET thay thế cát giảm nhẹ từ 4,65% (mẫu cơ sở) xuống 4,36% (mẫu 9%) đối với mác bê tông mác 35 MPa và từ 4,34% (mẫu cơ sở) xuống 4,24% (mẫu 9%) đối với mác bê tông mác 40 MPa. Các kết quả này đều nằm trong giới hạn cho phép của bê tông nặng có độ hút nước $H = (4 \div 8)\%$. Điều này cho thấy, nhựa PET không ảnh hưởng đáng kể đến độ hút nước của bê tông.

4. Kết luận

Từ những kết quả nghiên cứu trên chúng ta có thể thấy, nhựa PET phế thải có thể được sử dụng để thay thế một phần cát trong công nghệ sản xuất bê tông với các mác khác nhau. Để đảm bảo được các yêu cầu về kỹ thuật của hỗn hợp bê tông và bê tông thì hàm lượng nhựa PET tối đa có thể thay thế cát là 9% trọng lượng.

Ngoài ra, nghiên cứu này cũng cho thấy những ảnh hưởng đến tính kỹ thuật của hỗn hợp bê tông và bê tông sử dụng nhựa PET trong công nghệ sản xuất bê tông mác 35 và 40 MPa như sau:

- Tính linh động (độ sụt) của bê tông giảm khi sử dụng nhựa PET so với mẫu không sử dụng nhựa PET, kết quả này phù hợp với nghiên cứu trước đây [20].

- Cường độ chịu nén của bê tông giảm dần khi tăng dần hàm lượng nhựa PET. Điều này được giải thích là do sự

giảm lực liên kết giữa nhựa PET và xi măng so với lực liên kết giữa xi măng và cát [21].

- Độ hút nước của mẫu bê tông có sử dụng nhựa thay thế cát nằm trong khoảng cho phép đối với bê tông nặng (4-8%).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Jambeck J.P., Geyer R., Wilcox C., Siegler T.R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K.L. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, Vol. 347, No. 6223, 2015, 768-771.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Saikia N. and de Brito J. Waste Polyethylene Terephthalate as an Aggregate in Concrete. *Materials Research*, Vol. 16, No. 2, 2013, 341-350.
- 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.
- TCVN 6260:2009, Xi măng Portland hỗn hợp- Yêu cầu kỹ thuật. Tiêu chuẩn Việt nam.
- TCVN 1770:1986, Cát xây dựng- Yêu cầu kỹ thuật, Tiêu chuẩn Việt Nam
- TCVN 1771:1987, Đá dăm, sỏi và sỏi dăm dùng trong xây dựng – Yêu cầu kỹ thuật, Tiêu chuẩn Việt Nam.
- Hồ Viết Thắng. Nghiên cứu tận dụng thủy tinh phế thải để sản xuất bê tông mác 350. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, Vol 18, No.11.1, 2020, 16-20.
- <http://www.lotusjsc.com.vn/vn/san-pham/phu-gia-bt-thuong-pham/phu-gia-be-tong-lotusr301/>
- TCVN 8826 : 2011, Phụ gia hóa học dùng trong bê tông, Tiêu chuẩn Việt Nam.
- TCVN 4506:2012, Nước trộn bê tông và vữa-Yêu cầu kỹ thuật, Tiêu chuẩn Việt Nam.
- TCVN 3106 – 1993, Hỗn hợp bê tông nặng - phương pháp thử độ sụt, Tiêu chuẩn Việt Nam.
- TCVN 3118 : 1993, Bê tông nặng – phương pháp xác định cường độ nén, Tiêu chuẩn Việt Nam.
- TCVN 3113 : 1993, Bê tông nặng – phương pháp xác định độ hút nước, Tiêu chuẩn Việt Nam.
- Bộ Xây Dựng, “Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại” theo Quyết định số 778/1998/QĐ - BXD ngày 05/9/1998.
- 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.
- 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.