

Bê tông sử dụng cốt liệu từ nhựa tái chế

Trần Đức Trung^{1*}

¹ Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TỪ KHOÁ

Bê tông nhựa tái chế
Cốt liệu nhỏ
Cốt liệu nhựa tái chế
Phụ gia siêu dẻo
Phụ gia khoáng hoạt tính

TÓM TẮT

Hiện nay cốt liệu từ nhựa tái chế đã được nghiên cứu để chế tạo gạch block, gạch lát, tấm panel hoặc vật liệu composite. Do hạt nhựa có bề mặt trơn nhẵn, tính kỵ nước cao nên hỗn hợp bê tông sử dụng cốt liệu nhựa tái chế (CLTC) tiềm ẩn nguy cơ bị tách nước, phân tầng. Mặt khác CLTC có mô đun đàn hồi thấp, khả năng liên kết với đá xi măng kém nên cường độ bê tông chế tạo thường thấp hơn đáng kể so với bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên (CLTN). Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu sử dụng cốt liệu nhỏ từ nhựa HDPE tái chế (CLNTC) để chế tạo bê tông. Hỗn hợp bê tông chế tạo có độ đồng nhất cao, độ sụt dao động từ 16 ± 2 cm, cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt đến 35MPa, khả năng chịu mài mòn tốt... Kết quả cũng chỉ ra rằng phụ gia siêu dẻo (PGSD) kết hợp với phụ gia khoáng hoạt tính (PGK) là giải pháp giúp cải thiện cường độ bê tông cốt liệu nhựa. Hiệu quả này có thể được nâng cao hơn nữa nếu hàm lượng nhựa và chất kết dính được lựa chọn hợp lý.

KEYWORDS

Recycled plastic concrete
Fine aggregates
Recycled plastic aggregates
Superplastic additives
Activated mineral additives

ABSTRACT

Currently, aggregates from recycled plastic have been researched to make block bricks, paving tiles, panels or composite materials. Because plastic particles have a smooth surface and high hydrophobicity, concrete mixtures using recycled plastic aggregates (RPA) have the potential risk of water separation and stratification. On the other hand, RPA has a low modulus of elasticity, poor bonding ability with cement matrix, so the concrete strength is usually significantly lower than that of concrete using natural aggregates (NA). This paper presents a study using fine aggregates from recycled HDPE plastic (RFPA) to make concrete. The concrete mixture has high homogeneously, the slump ranges from 16 ± 2 cm, the compressive strength at 28 days reaches 35MPa, and the wear resistance is good... The results also show that superplastic additives (SP) combined with activated mineral additives (AMA) are solutions to improve the aggregate concrete strength. This efficiency can be further enhanced if the resin and adhesive content is properly selected.

1. Giới thiệu

Theo báo cáo của Bộ Tài nguyên và Môi trường cho thấy, trung bình mỗi năm, Việt Nam thải ra khoảng 1,8 triệu tấn rác thải nhựa, nằm trong số 20 quốc gia có lượng rác thải lớn nhất và cao hơn mức trung bình của thế giới. Cũng theo báo cáo này, Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh mỗi ngày thải ra môi trường khoảng 80 tấn rác thải nhựa, trong khi tỷ lệ tái chế chỉ đạt khoảng 27 % [1]. Tại Quyết định số 687/QĐ-TTg phê duyệt Đề án Phát triển kinh tế tuần hoàn ở Việt Nam năm 2022 đã xây dựng mục tiêu hướng tới mô hình kinh tế tuần hoàn, hỗ trợ xây dựng lối sống xanh, khuyến khích phân loại rác thải và thúc đẩy tiêu dùng bền vững. Theo đó, đến năm 2025 sẽ tái sử dụng, tái chế, xử lý 85 % lượng chất thải nhựa phát sinh, giảm thiểu 50 % rác thải nhựa trên biển và đại dương so với giai đoạn trước đây, giảm dần mức sản xuất và sử dụng túi ni lông khó phân hủy và sản phẩm nhựa dùng một lần trong sinh hoạt. Tăng đáng kể năng lực tái chế rác thải hữu cơ ở đô thị và nông thôn [2]. Như vậy, đối chiếu với số liệu thực tế năm 2025 thì lượng rác thải nhựa được thu hồi, quản lý và tái chế chưa đạt được mục tiêu đề ra.

Nhựa phế thải có nhiều loại với những đặc tính và ứng dụng riêng biệt, do đó các giải pháp được lựa chọn nhằm thu hồi, phân loại và tái chế cũng khác nhau. Loại nhựa nhiệt dẻo PET (Polyethylene Terephthalate) thường được sử dụng làm chai nước giải khát, bao bì thực phẩm, có khả năng tái chế cao và được áp dụng rộng rãi; Nhựa nhiệt dẻo HDPE (High-Density Polyethylene) được ứng dụng trong chế tạo bình đựng sữa, chai đựng chất tẩy rửa và một số loại túi nhựa, chúng có độ bền và khả năng tái chế cao; Nhựa PVC (Polyvinyl Clorua) được sử dụng phổ biến trong đường ống, dây cáp và vật liệu xây dựng. Đây là loại nhựa ít được tái chế do giải phóng khí độc hại trong quá trình xử lý; Nhựa LDPE (Low-Density Polyethylene) được sử dụng trong túi nhựa, màng thực phẩm và các loại hộp đựng khác nhau. Phế thải từ nhựa LDPE thường ít được tái chế; Nhựa PP (Polypropylene) thường sử dụng trong hộp đựng sữa chua, nắp chai và bao bì. Đây là loại nhựa đa năng nên nhu cầu về tái chế, sử dụng chúng ngày càng tăng; Nhựa PS (Polystyrene) có trọng lượng nhẹ và thường được sử dụng trong vật liệu đóng gói, vận chuyển. Tuy nhiên, đây cũng là loại vật liệu ít được tái chế [3].

*Liên hệ tác giả: trungtd@huce.edu.vn

Nhận ngày 27/03/2026, sửa xong ngày 19/05/2026, chấp nhận đăng ngày 20/05/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2026.1300>

Hiện nay trên thế giới, nhựa phế thải thường được tái chế theo ba nhóm công nghệ là: tái chế cơ học, tái chế hoá học và tái chế nhiệt phân. Mỗi giải pháp công nghệ đều có những ưu, nhược điểm riêng và đã được cải tiến, hoàn thiện nhằm nâng cao hiệu quả tái chế ở quy mô công nghiệp. Tái chế cơ học là phương pháp lâu đời và phổ biến nhất, bao gồm các bước như phân loại, nghiền nhỏ, rửa sạch và đùn ép để tạo ra hạt nhựa tái chế. Tuy nhiên, công nghệ này không hiệu quả với các loại phế thải nhựa hỗn hợp hoặc những loại nhựa bị ô nhiễm cao (dính dầu mỡ, phẩm màu, chất hữu cơ), sản phẩm đầu ra thường có chất lượng thấp hơn nhựa nguyên sinh do sự suy giảm tính chất cơ lý sau mỗi chu kỳ tái chế [4]. Tái chế hóa học đang thu hút sự quan tâm lớn từ các nhà khoa học và doanh nghiệp bởi khả năng phân rã các polyme về cấu trúc phân tử cơ bản như monomer hoặc các hợp chất hóa học trung gian. Phương pháp này hiện đang được áp dụng để xử lý các loại nhựa khó tái chế như PET và PS, đặc biệt khi bị ô nhiễm hoặc lẫn tạp chất. Công nghệ này cho phép sản xuất lại nhựa với chất lượng gần như tương đương với nhựa nguyên sinh [5]. Tái chế nhiệt phân cũng là một giải pháp khả thi và đang được ứng dụng khá phổ biến, chúng hiệu quả trong xử lý các loại nhựa hỗn hợp hoặc không thể phân loại. Phản ứng phân hủy nhiệt trong môi trường yếm khí cho phép chuyển hóa nhựa thành dầu, khí và than carbon. Tuy nhiên, công nghệ này vẫn đối mặt với những thách thức về quản lý khí thải và chi phí đầu tư [5].

Việc ứng dụng nhựa tái chế trong các lĩnh vực như xây dựng, giao thông và vật liệu composite ngày càng được chú trọng. Tại Ấn Độ, tác giả Rajagopalan Vasudevan đã phát triển công nghệ trộn nhựa phế thải vào hỗn hợp nhựa đường để nâng cao độ bền, khả năng chịu nhiệt và chống nứt cho mặt đường. Tính đến năm 2021, hơn 100.000 km đường đã được thi công bằng công nghệ này [6]. Tại châu Âu và Úc, nhựa tái chế được sử dụng làm gạch block, tấm panel hoặc vật liệu composite, thay thế một phần nguyên liệu xi măng truyền thống và giảm phát thải CO₂ [5]. Châu Âu hiện được xem là khu vực dẫn đầu về tỷ lệ tái chế nhựa, chủ yếu nhờ vào việc triển khai sớm và đồng bộ các chính sách thúc đẩy kinh tế tuần hoàn, đi kèm hệ thống pháp luật nghiêm ngặt liên quan đến quản lý rác thải. Theo báo cáo của hiệp hội thương mại ngành nhựa của châu Âu (Plastics Europe), tỷ lệ tái chế nhựa của EU đã đạt khoảng 35 % vào năm 2021 [4]. Ở Mỹ, tỷ lệ tái chế nhựa còn thấp, chỉ đạt khoảng 5÷6 % vào năm 2021, theo báo cáo của EPA [5]. Tuy nhiên, nhiều tập đoàn lớn như Coca-Cola, PepsiCo, Unilever đã cam kết sử dụng ít nhất 50 % nhựa tái chế trong bao bì đến năm 2030 [7]. Trung Quốc từng là điểm nóng về rác thải nhựa toàn cầu, chiếm khoảng hơn 45 % tổng lượng rác nhựa nhập khẩu vào năm 2016. Đến năm 2018, Trung Quốc ban hành lệnh cấm nhập khẩu các sản phẩm liên quan đến rác thải nhựa, buộc các quốc gia xuất khẩu phải tìm hướng đi mới. Hiện nay, nước này đang tập trung vào việc phát triển ngành tái chế trong nước, tăng cường kiểm soát chất lượng rác thải và xây dựng chuỗi cung ứng tuần hoàn [8].

Trong những năm gần đây, nhiều cơ sở nghiên cứu tại Việt Nam đã quan tâm đến việc phát triển các giải pháp tái chế nhựa phù hợp với điều kiện trong nước, hướng đến mục tiêu kinh tế tuần hoàn và giảm thiểu tác động môi trường. Kết quả nghiên cứu tại Trường Đại học Cần

Thơ cho thấy khả năng ứng dụng nhựa tái chế kết hợp với sợi cây báp để tạo ra vật liệu xây dựng có độ bền cao và thân thiện môi trường [9]. Cũng tại đây, nhựa PET được cắt thủ công thành kích thước hạt đều nhau 3x3x3 mm (cấp phối hạt gián đoạn), sử dụng làm cốt liệu cho bê tông với hàm lượng 5 ÷ 30 % [10]. Một số nghiên cứu sử dụng hạt nhựa tái chế cho bê tông asphalt. Nhiều nghiên cứu ứng dụng công nghệ sinh học như sử dụng enzyme từ vi khuẩn *Ideonella sakaiensis* nhằm phân hủy nhựa PET thành acid terephthalic và ethylene glycol. Tuy nhiên, quy mô hiện mới chỉ dừng lại ở quy mô phòng thí nghiệm [11]. Công ty TNHH Reform Plastic tại Hội An đã sử dụng nhựa tái chế (chủ yếu là HDPE và LDPE) để sản xuất gạch lát, mái che, bàn ghế công cộng [12]. Phế thải từ nhựa PP và HDPE cũng đã được nghiên cứu chế tạo gạch lát vỉa hè, sản phẩm chế tạo có độ bền uốn khoảng 2,16 ÷ 2,8 MPa [13]. Tuy nhiên hiện nay các nghiên cứu sử dụng nhựa HDPE nghiền làm cốt liệu cho bê tông ở Việt Nam chưa nhiều.

Trên thế giới, cốt liệu lớn và nhỏ được sử dụng từ nhựa PET, ESP, PE thay thế cốt liệu tự nhiên được nghiên cứu khá phổ biến. Nhựa HDPE được sử dụng những thường được gia công nhiệt đến 160 ÷ 200 °C, sau đó đùn ép, nghiền thành hạt cốt liệu. Các nghiên cứu đa số đều cho thấy sử dụng nhựa tái chế làm cốt liệu làm giảm cường độ nén của bê tông, nhất là với hàm lượng lớn hơn 40 %.

Do hạt nhựa có mô đun đàn hồi thấp, khả năng liên kết với đá xi măng kém nên khi sử dụng làm cốt liệu sẽ làm giảm đáng kể cường độ và mô đun đàn hồi của vữa và bê tông. Tuy nhiên chúng lại làm giảm đáng kể khối lượng thể tích, tăng độ bền trong môi trường. Một số nghiên cứu đã khuyến cáo không nên sử dụng nhựa tái chế làm cốt liệu nhỏ cho vữa và bê tông với hàm lượng lớn hơn 30 %.

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

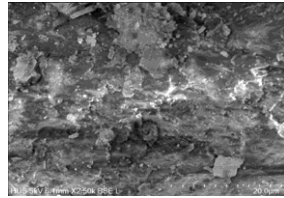
2.1. Vật liệu sử dụng

CLNTC có nguồn gốc từ nhựa HDPE tái chế, được nghiền nhỏ, sàng loại bỏ các hạt có kích thước lớn hơn 5 mm. CLNTC được sử dụng kết hợp với cát vàng tự nhiên (CV) làm cốt liệu nhỏ trong bê tông. Các tính chất cơ lý của CLNTC và CV được thể hiện tại Bảng 1, thành phần hạt được thể hiện tại Bảng 2. Hình dạng hạt của CLNTC và CV được thể hiện tại Hình 1 và Hình 2. Cốt liệu lớn (CLL) sử dụng là đá dăm, có tính chất cơ lý thể hiện tại Bảng 3, thỏa mãn theo TCVN 7572:2006 [14]. Ngoài ra nghiên cứu còn sử dụng xi măng PC40 Bút Sơn (XM), phụ gia khoáng tro bay (TB), silica fume (SF), nước (N) và phụ gia siêu dẻo (PGSD).

Thành phần hoá, lượng mất khi nung (MKN) của XM, TB và SF được thống kê tại Bảng 4. Các tính chất cơ lý của XM được thể hiện tại Bảng 5, của TB và SF được thể hiện tại Bảng 6. Tính chất của XM thỏa mãn theo yêu cầu của TCVN 2682:2020 [16], của TB thỏa mãn theo TCVN 10302:2014 [[20]] và SF thỏa mãn TCVN 10302:2014 [21]. PGSD sử dụng có tên thương phẩm là Glenium ACE388 SuraTec. Đây là loại PGSD gốc polycarboxylate ether của hãng BASF Việt Nam. Nước dùng trong nghiên cứu là nước máy, thỏa mãn theo tiêu chuẩn TCVN 4506: 2012 [22] đối với nước trộn vữa và bê tông.



a. Mẫu CLNTC

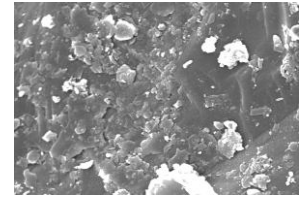


b. Cấu trúc bề mặt hạt CLNTC

Hình 1. Cốt liệu nhỏ tái chế từ nhựa HDPE (CLNTC).



a. Mẫu CV



b. Cấu trúc bề mặt hạt CV

Hình 2. Cốt liệu nhỏ tự nhiên (CV).

Bảng 1. Tính chất cơ lý của CLNTC và CV.

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	CLNTC	CV	Phương pháp thí nghiệm [[15]]
Khối lượng riêng	g/cm ³	0,89	2,59	TCVN 7572-4:2006
Khối lượng thể tích hạt	g/cm ³	0,89	2,52	TCVN 7572-4:2006
Độ hút nước	%	0	1,19	TCVN 7572-4:2006
Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	300	1490	TCVN 7572-6:2006
Mô đun độ lớn	-	2,71	2,39	TCVN 7572-2:2006
Hàm lượng bụi bùn sét	%	0,16	0,34	TCVN 7572-8:2006

Bảng 2. Thành phần hạt của CLNTC và CV.

Cỡ hạt (mm)	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.14
Lượng sót tích lũy (%) của CLNTC	0	7,8	36,4	56,3	73,9	96,5
Lượng sót tích lũy (%) của CV	0	9,3	27,1	44,7	63,2	94,8

Bảng 3. Tính chất cơ lý của CLL.

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	CLL	Phương pháp thí nghiệm [[15]]
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,76	TCVN 7572-4:2006
Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1560	TCVN 7572-6:2006
Độ hút nước	%	0,35	TCVN 7572-4:2006
Độ nén đập trong xi lanh	%	10,8	TCVN 7572-11:2006
D _{max} hạt cốt liệu	mm	20	TCVN 7572-2:2006
Hàm lượng hạt thoi dẹt	%	8	TCVN 7572-13:2006

Bảng 4. Thành phần hoá, lượng mất khi nung (MKN) của XM, TB và SF.

Nguyên vật liệu	Hàm lượng (%) các oxyt								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	MKN
XM	22,60	5,33	3,31	64,17	1,41	0,88	0,08	1,32	0,83
TB	54,52	27,3	5,88	1,42	1,37	3,16	0,26	-	5,21
SF	93,06	0,93	1,48	0,57	1,15	1,27	0,42	0,31	0,72

Bảng 5. Tính chất cơ lý của XM

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	XM	Phương pháp thí nghiệm
Khối lượng riêng	g/cm ³	3,07	TCVN 13605:2023 [23]
Độ mịn Blaine	cm ² /g	3480	TCVN 13605:2023 [23]
Độ dẻo tiêu chuẩn.	%	29,5	TCVN 6017:2015 [17]
- Thời gian bắt đầu đông kết	Phút	120	TCVN 6017:2015 [17]
- Thời gian kết thúc đông kết	Phút	245	
Độ ổn định thể tích	mm	1,50	TCVN 6017:2015 [17]

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	XM	Phương pháp thí nghiệm
Kích thước hạt trung bình	μm	16,27	Phương pháp lazer
- Cường độ nén ở tuổi 3 ngày	MPa	26,2	TCVN 6016:2011 [19]
- Cường độ nén ở tuổi 28 ngày	MPa	46,8	

Bảng 6. Tính chất cơ lý của TB và SF.

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	TB	SF	Phương pháp thí nghiệm
Khối lượng riêng	g/cm^3	2,29	2,21	TCVN 13605:2023 [23]
Lượng sót sàng 45 μm	%	9,71	-	TCVN 13605:2023 [23]
Độ mịn Blaine	cm^2/g	3880	-	TCVN 13605:2023 [23]
Kích thước hạt trung bình	μm	7,91	0,27	Phương pháp lazer
Chỉ số hoạt tính với XM	%	93	110	TCVN 8827:2020 [21] TCVN 10302:2014 [20]

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn và phi tiêu chuẩn được sử dụng cho nghiên cứu này. Trong đó các phương pháp tiêu chuẩn dựa trên hệ thống tiêu chuẩn của Việt Nam gồm: xác định các tính chất cơ lý của XM (TCVN 13605:2023 [23], TCVN 6017:2015 [17], TCVN 6016:2011 [19]), phụ gia khoáng TB và SF theo TCVN 13605:2023 [23], TCVN 8827:2020 [21] và 10302:2014 [20], cốt liệu cho bê tông (CLNTC, CV, CLL) theo TCVN 7572:2006 [15], các tính chất cơ lý của bê tông theo TCVN 3106:2022, TCVN 3121-10:2003, TCVN 3118:2022. Ngoài ra phương pháp thí nghiệm phi tiêu chuẩn được sử dụng để xác định sự phân bố kích thước hạt của XM, TB và SF (phương pháp tán xạ lazer), phương pháp chụp ảnh bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) để xác định cấu trúc bề mặt của cốt liệu.

Kết quả thí nghiệm cường độ nén, khối lượng thể tích của bê tông được đúc trong mẫu lập phương có cạnh là 100 mm, được bảo dưỡng ở

điều kiện tiêu chuẩn và thí nghiệm ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày. Kết quả thí nghiệm độ mài mòn được thí nghiệm ở tuổi 28 ngày.

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

3.1. Thiết kế thành phần cấp phối bê tông

Để nghiên cứu ảnh hưởng của CLNTC sử dụng đến tính chất của bê tông, nghiên cứu đã sử dụng tỷ lệ về thể tích giữa CLNTC:CV là 0:100; 10:90; 20:80; 30:70 và 40:60. Với bê tông mác 200 (M20), nghiên cứu sử dụng tỷ lệ N/CKD là 0,6 trong đó tổng lượng xi măng sử dụng là $300 \text{ kg}/\text{m}^3$. Tương tự với bê tông mác 350 (M35) thì tỷ lệ N/CKD là 0,45 và lượng xi măng là $420 \text{ kg}/\text{m}^3$. Cả hai cấp phối này đều sử dụng mức ngậm cát là 0,44. Do lượng nước sử dụng là cố định nên PGSD được sử dụng nhằm điều chỉnh độ sụt của hỗn hợp bê tông đạt mức $16 \pm 2 \text{ cm}$. Sử dụng phương pháp tính thể tích tuyệt đối sẽ tính được lượng dùng vật liệu cho 1 m^3 bê tông. Kết quả tính toán được thống kê tại Bảng 7 và Bảng 8.

Bảng 7. Cấp phối bê tông M20

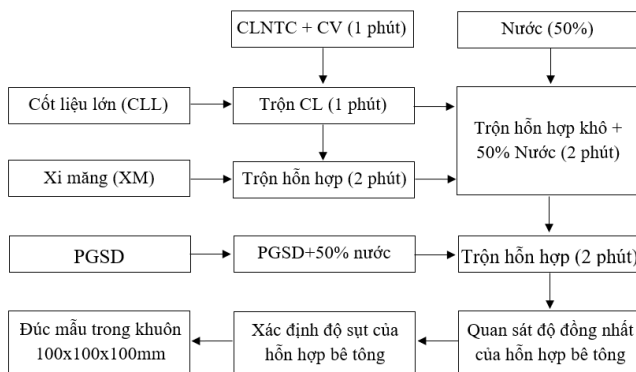
Ký hiệu	CLNTC:CV	XM (kg)	CLNTC (kg)	CV (kg)	CLL (kg)	N (lít)
M20-0	0	300	0,0	814	1031	180
M20-10	10	300	28	733	1031	180
M20-20	20	300	56	651	1031	180
M20-30	30	300	84	570	1031	180
M20-40	40	300	112	488	1031	180

Bảng 8. Cấp phối bê tông M35

Ký hiệu	CLNTC:CV	XM (kg)	CLNTC (kg)	CV (kg)	CLL (kg)	N (lít)
M35-0	0	420	0,0	768	972	189
M35-10	10	420	27	691	972	189
M35-20	20	420	53	614	972	189
M35-30	30	420	79	538	972	189
M35-40	40	420	106	461	972	189

3.2. Quy trình trộn và chế tạo mẫu

Trước tiên CLNTC sẽ được trộn đều với CV trong thời gian 1 phút, CLL được đưa vào trộn cùng với hỗn hợp CLN trong 1 phút tiếp theo. Sau đó XM được thêm vào trộn với thời gian 2 phút. Tiếp theo 50 % nước được sử dụng để trộn hỗn hợp trong thời gian khoảng 2 phút với chế độ quay chậm. Dừng máy trộn để đảo trộn hỗn hợp bằng tay trong 1 phút, tiếp tục cho vào 50 % lượng nước còn lại cùng với PGSD vào trộn cùng hỗn hợp trong 2 phút nữa. Tổng thời gian trộn hỗn hợp bê tông là 9 phút. Sau khi trộn, hỗn hợp bê tông được thí nghiệm xác định tính công tác bằng độ sụt. Độ sụt của bê tông cần đảm bảo từ 16 ± 2 cm, bên cạnh đó mẫu cần đảm bảo độ đồng nhất, không bị tách nước, phân tầng hoặc rời rạc, kém liên kết. Mẫu đạt độ sụt và độ đồng nhất sẽ được đúc mẫu thí nghiệm tính chất cơ lý như: cường độ nén, khối lượng thể tích... trong khuôn 100 mm. Quy trình trộn và chế tạo mẫu bê tông được thể hiện tại hình 3.



Hình 3. Quy trình trộn và chế tạo mẫu bê tông.

3.3. Tính chất của hỗn hợp bê tông

Bảng 9. Độ sụt và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông với cấp phối M20.

Ký hiệu	CLNTC:CV	PGSD (%)	SN (cm)	KLTHH (kg/m ³)
M20-0	0	0,40	17,5	2350
M20-10	10	0,70	17,0	2290
M20-20	20	0,85	15,5	2230
M20-30	30	1,00	16,0	2170

Bảng 10. Độ sụt và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông với cấp phối M35.

Ký hiệu	CLNTC:CV	PGSD (%)	SN (cm)	KLTHH (kg/m ³)
M35-0	0	0,65	17,0	2370
M35-10	10	0,85	16,5	2310
M35-20	20	1,05	15,0	2260
M35-30	30	1,15	16,0	2200
M35-40	40	1,35	17,5	2150

Kết quả nghiên cứu về tính công tác đánh giá thông qua độ sụt (SN) và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông (KLTHH) được thể hiện tại Bảng 9 và Bảng 10. Hỗn hợp sử dụng cấp phối M20-40 bị phân tầng, kém liên kết nên loại bỏ.

Kết quả nghiên cứu cho thấy: đối với cấp phối M20 chỉ sử dụng lượng XM là 300 kg cho 1 m³ bê tông nên khi hàm lượng CLNTC sử dụng đến 40 % đã không tạo ra được lớp hồ xi măng có chiều dày đủ lớn bao bọc quanh các hạt cốt liệu, do đó hỗn hợp bê tông rời rạc, kém liên kết và phân tầng. Khi tăng hàm lượng CLNTC từ 0 ÷ 40 % đều có xu hướng làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông với cả cấp phối M20 và M35 thể hiện qua lượng dùng PGSD tăng lên để hỗn hợp bê tông đạt được cùng độ sụt. Với mức M20, lượng dùng PGSD tăng từ 0,4÷1,0 % trong khi với mức M30, mức tăng là từ 0,65÷1,35 %. Điều này có thể được lý giải là do bề mặt của hạt CLNTC thường có hình dáng sắc cạnh, hình kim, vảy mỏng và không đồng đều, tạo ra ma sát bề mặt lớn hơn so với CV, do đó cần bổ sung thêm PGSD để duy trì độ sụt của hỗn hợp bê tông tương đương nhau và đạt từ 16 ± 2 cm.

Bên cạnh đó, với cả mức M20 và mức M35, khi tăng lượng dùng CLNTC đều làm giảm KLTHH của hỗn hợp bê tông. Cụ thể đối với mức M20 có KLTHH giảm từ 3 ÷ 8 % khi hàm lượng nhựa tăng từ 10 ÷ 30 %. Đối với mức M35, KLTHH giảm từ 5 ÷ 10 % ứng với hàm lượng nhựa sử dụng tăng từ 10 ÷ 40 %. Điều này hoàn toàn phù hợp do khối lượng thể tích hạt của CLNTC nhỏ hơn nhiều so với CV.

3.4. Cường độ nén và khối lượng thể tích khô

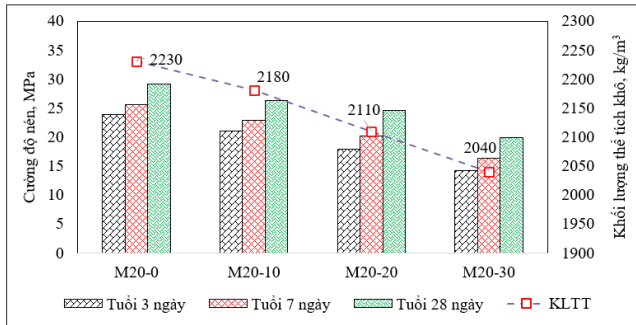
Hỗn hợp bê tông sau khi đạt yêu cầu về tính công tác được đúc mẫu trong khuôn lập phương có kích thước cạnh là 100 mm, được bảo dưỡng ở điều kiện tiêu chuẩn. Cường độ nén mẫu bê tông được thực hiện ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày. Khối lượng thể tích khô (KLTT) được thí nghiệm ở tuổi 28 ngày. Kết quả nghiên cứu được thể hiện tại Bảng 11, Bảng 12, Hình 4 và Hình 5.

Bảng 11. Cường độ nén và KLTT với cấp phối M20.

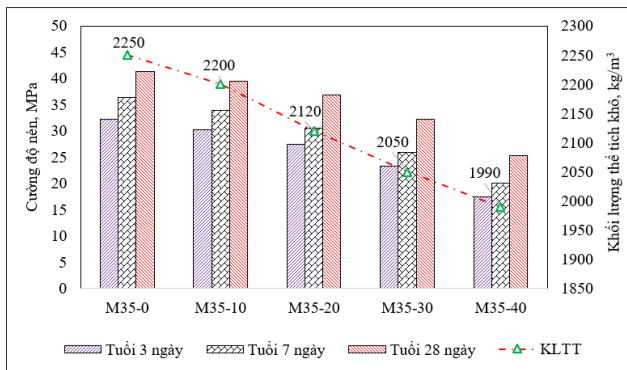
Ký hiệu	Cường độ (MPa)			KLTT (kg/m ³)
	3 ngày	7 ngày	28 ngày	
M20-0	23,84	25,58	29,14	2230
M20-10	20,99	22,79	26,32	2180
M20-20	17,92	20,17	24,58	2110
M20-30	14,24	16,24	19,81	2040

Bảng 12. Cường độ nén và KLTT với cấp phối M35.

Ký hiệu	Cường độ (MPa)			KLTT (kg/m ³)
	3 ngày	7 ngày	28 ngày	
M35-0	32,16	36,43	41,28	2250
M35-10	30,15	33,97	39,44	2200
M35-20	27,41	30,56	36,78	2120
M35-30	23,28	25,87	32,15	2050
M35-40	17,44	20,14	25,35	1990



Hình 4. Cường độ nén và KLTT của mẫu bê tông M20.



Hình 5. Cường độ nén và KLTT của mẫu bê tông M35.

Kết quả nghiên cứu cho thấy: CLNTC làm giảm đáng kể cường độ nén của mẫu bê tông cả ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày so với cấp phối sử dụng 100 % CV. Cụ thể với mác M20, khi lượng CLNTC sử dụng tăng từ 10 ÷ 30 % làm giảm cường độ nén của bê tông ở tuổi 3 ngày từ

12 ÷ 40 %, tuổi 7 ngày từ 11 ÷ 37 % và mức độ giảm từ 10 ÷ 32 % ở tuổi 28 ngày. Với mác M35, mức độ giảm cường độ nén đối với tuổi 3 ngày từ 6 ÷ 46 %, tuổi 7 ngày từ 7 ÷ 45 % và đối với tuổi 28 ngày từ 5 ÷ 38 % tương ứng với lượng dùng CLNTC từ 10 ÷ 40 %. Theo nghiên cứu thì kết quả này khá hợp lý do những đặc tính của hạt CLNTC mang lại như mô đun đàn hồi thấp, khả năng liên kết với đá xi măng kém. Tuy nhiên kết quả này lại ngược lại với nghiên cứu [10] khi cho rằng sử dụng hàm lượng cốt liệu nhựa từ 10 ÷ 30 % vẫn làm tăng cường độ nén so với mẫu sử dụng hoàn toàn cốt liệu tự nhiên. Nghiên cứu cũng cho thấy sử dụng CLNTC làm giảm khối lượng thể tích khô (KLTT) của mẫu bê tông từ 2 ÷ 12 % tương ứng với lượng dùng CLNTC từ 10 ÷ 40 %. Kết quả này hoàn toàn phù hợp vì CV có khối lượng thể tích hạt lớn hơn đáng kể so với CLNTC. Tuy nhiên mức độ giảm KLTT là chưa lớn, đặc biệt là với những tỷ lệ thay thế CLNTC thấp từ 10 ÷ 20 %.

3.5. Nghiên cứu với mẫu đối chứng

Với mức độ thay thế đến 20 % CV bởi CLNTC, hỗn hợp bê tông sử dụng CLNTC có độ sụt đạt theo yêu cầu, không xuất hiện hiện tượng phân tầng hoặc tách nước, cường độ nén ở tuổi 28 ngày chỉ giảm khoảng 16 % với mác M20 và 11 % đối với mác M35, đồng thời mẫu bê tông vẫn đạt được mác thiết kế. Trên cơ sở đó nghiên cứu đã lựa chọn cấp phối M20-20 và M35-20 là cấp phối hợp lý.

Cấp phối bê tông đối chứng là cấp phối sử dụng 100 % CV (không sử dụng CLNTC). Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng sử dụng thêm cấp phối có chứa 10 % SF và 20 % TB thay thế XM theo thể tích để đánh giá đối chứng với mẫu sử dụng 100 % XM. Số liệu được thống kê tại Bảng 13 và Bảng 14.

Bảng 13. Cấp phối bê tông M20-20 và các cấp phối đối chứng.

Ký hiệu	XM (kg)	TB (kg)	SF (kg)	CLNTC (kg)	CV (kg)	CLL (kg)	N (lít)
M20-0	300	0	0	0	814	1031	180
M20-20	300	0	0	56	651	1031	180
M20-20-20TB	300	45	0	56	651	1031	180
M20-20-10SF	300	0	22	56	651	1031	180

Bảng 14. Cấp phối bê tông M35-20 và các cấp phối đối chứng.

Ký hiệu	XM (kg)	TB (kg)	SF (kg)	CLNTC (kg)	CV (kg)	CLL (kg)	N (lít)
M35-0	420	0	0	0	768	972	189
M35-20	420	0	0	53	614	972	189
M35-20-20TB	420	63	0	53	614	972	189
M35-20-10SF	420	0	30	53	614	972	189

3.5.1. Hỗn hợp bê tông trong nghiên cứu đối chứng

Quy trình trộn hỗn hợp bê tông được thực hiện tương tự như mục 3.2, trong đó bổ sung thêm công đoạn trộn đều hỗn hợp bột gồm

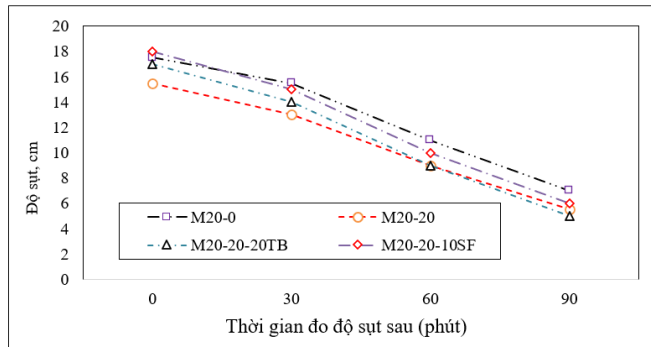
XM và phụ gia khoáng (PGK). Ngoài độ sụt, hỗn hợp bê tông được thí nghiệm sự suy giảm độ sụt theo thời gian. Kết quả nghiên cứu thể hiện tại Bảng 15, Bảng 16, Hình 6 và Hình 7.

Bảng 15. Sự hao tổn độ sụt theo thời gian của hỗn hợp bê tông M20.

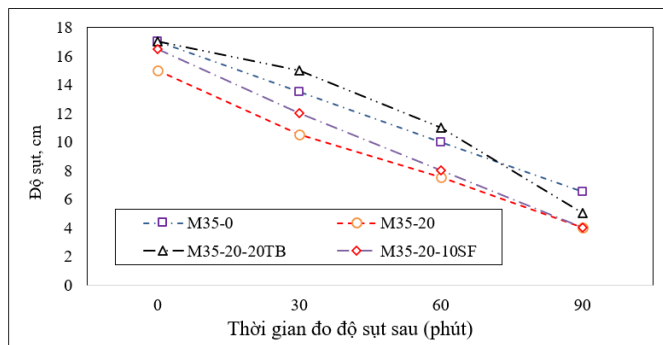
Ký hiệu	% PGSD	Độ sụt (cm) sau thời gian (phút)				KLTT (kg/m ³)
		0	30	60	90	
M20-0	0,40	17,5	15,5	11,0	7,0	2350
M20-20	0,85	15,5	13,0	9,0	5,5	2230
M20-20-20TB	0,70	17,0	14,0	9,0	5,0	2220
M20-20-10SF	0,95	18,0	15,0	10,0	6,0	2190

Bảng 16. Sự hao tổn độ sụt theo thời gian của hỗn hợp bê tông M35.

Ký hiệu	% PGSD	Độ sụt (cm) sau thời gian (phút)				KLTT (kg/m ³)
		0	30	60	90	
M35-0	0,65	17,0	13,5	10,0	6,5	2370
M35-20	1,05	15,0	10,5	7,5	4,0	2260
M35-20-20TB	0,95	17,0	15,0	11,0	5,0	2250
M35-20-10SF	1,10	16,5	12,0	8,0	4,0	2210



Hình 6. Sự suy giảm độ sụt theo thời gian của hỗn hợp bê tông M20.



Hình 7. Sự suy giảm độ sụt theo thời gian của hỗn hợp bê tông M35.

Sử dụng 20 % TB giúp giảm khoảng 10 ÷ 18 % lượng dùng PGSD để hỗn hợp bê tông đạt được tính công tác gần tương đương nhau. Mức độ giảm đối với cấp phối M35 thấp hơn so với cấp phối M20. Trong khi đó sử dụng 10 % SF lại làm tăng lượng dùng PGSD từ 5 ÷ 12 %. Đối với

mác M20 có mức độ tăng lớn hơn so với cấp phối M20. Điều này có thể được lý giải là do TB có cấu trúc hạt chủ yếu dạng hình cầu nên trong hỗn hợp bê tông, chúng có thể phát huy hiệu ứng “ô bi” làm tăng tính linh động của hỗn hợp. Trong trường hợp hỗn hợp bê tông được không chế tương đương thì sẽ làm giảm lượng dùng PGSD. Hiệu ứng này cũng xuất hiện đối với hỗn hợp bê tông sử dụng SF do chúng cũng có cấu trúc hạt dạng hình cầu tương tự như đối với TB. Tuy nhiên chúng lại có kích thước hạt rất mịn, điều này làm tăng đột biến tỷ diện tích bề mặt hạt, từ đó làm tăng lượng nước nhào trộn. Khi lượng nước sử dụng cố định thì sẽ cần lượng PGSD lớn hơn. Mức độ ảnh hưởng của M20 là lớn hơn M35 có thể là do lượng dùng XM của M20 thấp hơn đáng kể so với M35, điều đó có nghĩa là hỗn hợp bê tông M35 có lượng hồ lớn hơn, do đó chúng tạo ra lớp bao bọc quanh các hạt với chiều dày lớn hơn, mức độ ảnh hưởng của ma sát bề mặt hạt cốt liệu cũng sẽ ít hơn so với hỗn hợp bê tông M20.

Các thí nghiệm về sự hao tổn độ sụt của hỗn hợp bê tông theo thời gian lại cho kết quả khá thú vị. Việc sử dụng CLNTC hay phụ gia khoáng (TB, SF) hầu như không ảnh hưởng nhiều đến việc duy trì độ sụt theo thời gian đối với cả hỗn hợp bê tông M20 và M35.

3.5.2. Tính chất cơ lý của mẫu bê tông trong nghiên cứu đối chứng

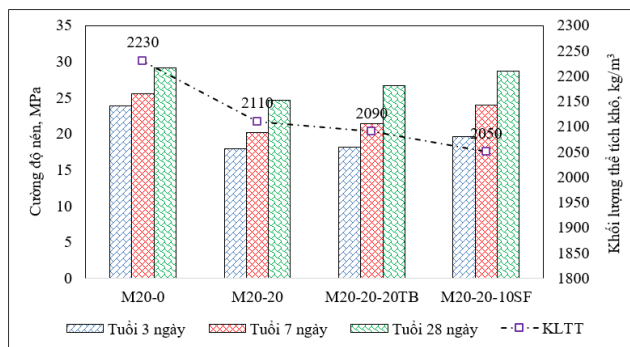
Mẫu bê tông được thí nghiệm cường độ nén ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày. Bên cạnh đó các tính chất như độ mài mòn, độ hút nước và KLTT được thí nghiệm ở tuổi 28 ngày. Chỉ tiêu độ hút nước được thí nghiệm với viên mẫu lập phương có kích thước cạnh là 70 mm theo TCVN 3114:2022. Kết quả nghiên cứu thể hiện tại Bảng 17, Bảng 18, Hình 8, Hình 9, Hình 10 và Hình 11.

Bảng 17. Tính chất chất cơ lý của mẫu bê tông M20.

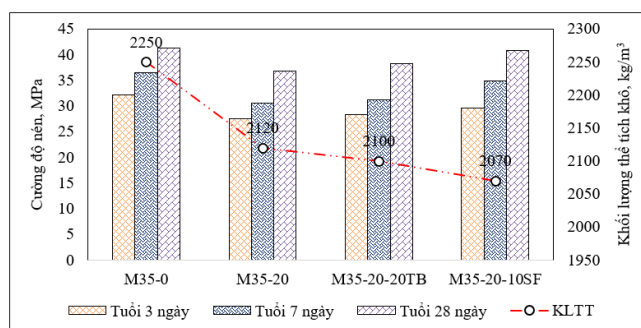
Ký hiệu	Cường độ (MPa)			Mài mòn (g/cm ²)	Hút nước (%)	KLTT (kg/m ³)
	3	7	28			
M20-0	23,84	25,58	29,14	0,43	6,2	2230
M20-20	17,92	20,17	24,58	0,52	7,6	2110
M20-20-20TB	18,13	21,41	26,70	0,48	7,0	2090
M20-20-10SF	19,54	23,97	28,65	0,46	6,7	2050

Bảng 18. Tính chất chất cơ lý của mẫu bê tông M35.

Ký hiệu	Cường độ (MPa)			Mài mòn (g/cm ²)	Hút nước (%)	KLTT (kg/m ³)
	3	7	28			
M35-0	32,16	36,43	41,28	0,38	4,6	2250
M35-20	27,41	30,56	36,78	0,47	5,8	2120
M35-20-20TB	28,28	31,10	38,15	0,45	5,2	2100
M35-20-10SF	29,53	34,91	40,81	0,41	4,8	2070



Hình 8. Cường độ nén và KLTT của mẫu bê tông M20 đối chứng.

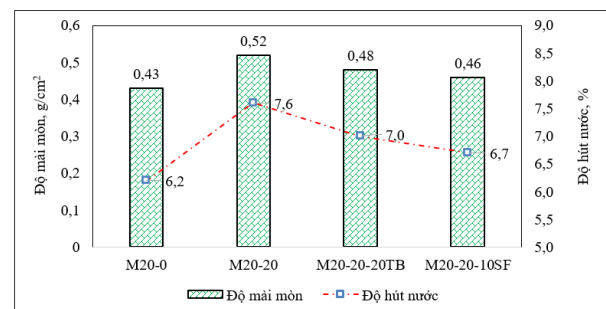


Hình 9. Cường độ nén và KLTT của mẫu bê tông M35 đối chứng.

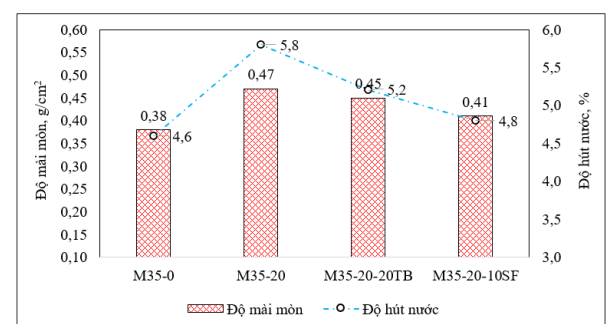
Với mẫu bê tông mác M20, sử dụng CLNTC thay thế 20 % thể tích CV làm giảm cường độ nén ở tuổi 3 ngày và 7 ngày tương ứng là 25 % và 21 %, ở tuổi 28 ngày mức độ giảm cường độ nén chỉ còn khoảng 16 %. Tương tự, giá trị cường độ nén ở tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày của mẫu bê tông M35 giảm 14 %, 16 % và 11 %. Như vậy với lượng dùng CLNTC là 20 % có thể chế tạo được mẫu bê tông với mức độ giảm cường độ nén ở tuổi 28 ngày ở ngưỡng chấp nhận được.

Sử dụng phụ gia khoáng TB và SF giúp cải thiện cường độ nén ở tất cả các tuổi với cả mác M20 và M35. Cụ thể khi sử dụng 20 % TB,

10 % SF thay thế thể tích XM thì cường độ nén của mẫu bê tông M20 ở tuổi 28 ngày tăng tương ứng 9 % và 17 % so với mẫu sử dụng 100 % XM (mẫu M20-20), khi đó giá trị cường độ nén ở tuổi 28 ngày của chúng chỉ thấp hơn mẫu bê tông sử dụng 100 % CV (mẫu M20-0) khoảng 8 % khi sử dụng TB và gần tương đương khi sử dụng SF. Tương tự với mẫu M35, sử dụng 20 % TB, 10 % SF giúp cải thiện cường độ nén ở tuổi 28 ngày tương ứng là 4 % và 11 % so với mẫu sử dụng 100 % XM. Điều này cũng có nghĩa là chúng có cường độ nén thấp hơn chỉ khoảng 7 % so với mẫu bê tông sử dụng 100 % CV khi dùng TB và giá trị này là gần tương đương trong trường hợp sử dụng SF.



Hình 10. Độ mài mòn và độ hút nước của mẫu bê tông M20 đối chứng.



Hình 11. Độ mài mòn và độ hút nước của mẫu bê tông M35 đối chứng.

Sử dụng 20 % CLNTC thay thế CV làm tăng khoảng 21 % độ mài mòn đối với mẫu M20 và 24 % với mẫu M35. Để cải thiện độ mài mòn, nghiên cứu đã sử dụng phụ gia khoáng TB và SF thay thế một phần XM. Kết quả cho thấy với mẫu M20 sử dụng 20 % TB, 10 % SF đã cải thiện tương ứng được 8 % và 12 %, so với mẫu sử dụng 100 % XM (M20-20). Đối với mẫu M35, mức độ cải thiện là 5 % và 13 %. Như vậy có thể thấy, sử dụng 20 % TB và 10 % SF trong mẫu bê tông có 20 % CLNTC thì độ mài mòn của chúng không có sự khác biệt nhiều so với mẫu bê tông thông thường (M20-0 và M35-0).

Kết quả nghiên cứu độ hút nước cho thấy: mẫu bê tông sử dụng CLNTC đều có xu hướng làm tăng độ hút nước ở cả mẫu M20 và M35. Điều này có thể được luận giải là do đặc tính của CLNTC có mô đun đàn hồi thấp, có tính kỵ nước cao nên tạo ra sự liên kết bề mặt kém giữa CLNTC và XM, đồng thời vùng ITZ giữa chúng cũng trở nên kém đặc chắc. Do đó làm tăng độ rỗng của bê tông, dẫn đến làm tăng độ hút nước. Sử dụng TB và SF đều có xu hướng cải thiện độ hút nước của mẫu bê tông, nguyên nhân chính xuất phát từ việc chúng giúp cải thiện được độ đặc chắc của mẫu bê tông. SF có xu hướng cải thiện độ hút nước của mẫu bê tông tốt hơn so với TB. Điều này có thể là do SF có độ mịn cao hơn rất nhiều so với TB nên chúng giúp cải thiện độ đặc chắc của mẫu bê tông tốt hơn. Việc sử dụng hàm lượng XM lớn hơn, tỷ lệ N/CKD thấp hơn làm cho mẫu M35 có độ đặc chắc cao hơn so với mẫu M20. Đây chính là nguyên nhân làm cho độ hút nước của mẫu bê tông M35 thấp hơn so với mẫu M20. Điều này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết.

4. Kết luận

- Sử dụng CLNTC làm giảm cường độ nén của mẫu bê tông ở cả tuổi 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày, đặc biệt khi hàm lượng CLNTC sử dụng đến 30 % thể tích sẽ làm giảm 32 % cường độ nén ở tuổi 28 ngày với mức M20 và 22 % với mức M35.

- Hàm lượng CLNTC ở mức 20 % thể tích được coi là hợp lý để chế tạo bê tông M20 và M35. Hỗn hợp bê tông chế tạo có tính công tác tốt, cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt 24,58 MPa và 36,78 MPa. Bên cạnh đó CLNTC cũng làm giảm độ mài mòn, tăng chút ít độ hút nước của bê tông so với mẫu sử dụng 100 % CV.

- Tính công tác của hỗn hợp bê tông đánh giá thông qua chỉ tiêu độ sụt có xu hướng giảm khi sử dụng CLNTC, mức độ giảm tính công tác tỷ lệ thuận với hàm lượng CLNTC. Tuy nhiên sự suy giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông theo thời gian lại không bị ảnh hưởng nhiều bởi vai trò của CLNTC.

- Phụ gia khoáng TB và SF giúp cải thiện cường độ nén của mẫu bê tông mức M20, sử dụng 20 % CLNTC ở tuổi 28 ngày tương ứng là 9 % và 17 %, trong khi mức độ cải thiện cường độ nén đối với mức M35 khoảng 4 % và 11 %, đồng thời TB và SF cũng cải thiện đáng kể độ mài mòn và độ hút nước của mẫu bê tông.

- Đối với mức bê tông M20 và M35, sử dụng hàm lượng 20 % CLNTC kết hợp với 20 % TB hoặc 10 % SF và PGSD sẽ chế tạo được mẫu bê tông có cường độ nén, độ mài mòn và độ hút nước gần tương

đương với mẫu bê tông thông thường (mẫu M20-0 và M35-0), đặc biệt là với mẫu sử dụng phụ gia khoáng SF.

Tài liệu tham khảo

- [1]. <https://moit.gov.vn/bao-ve-moi-truong/cam-ket-hanh-dong-manh-megiam-thieu-rac-thai-nhua.html>.
- [2]. <https://moitruong.net.vn/den-nam-2025-85-luong-chat-thai-nhua-phat-sinh-duoc-tai-su-dung-va-xu-ly-56119.html>.
- [3]. Nguyễn Huy Hoàng, “Các loại nhựa có thể tái sử dụng, tái chế tốt nhất”, *Thanhthienplastic.com*. <https://thanhthienplastic.com/cac-loai-nhua-co-the-tai-su-dung>, 2022.
- [4]. Plastics Europe, *Plastics-the Facts 2022*, Plastics Europe, 2022.
- [5]. Beyond Plastics, “The real truth about the U.S plastics recycling rate”, *The last beach cleanup*, 2022.
- [6]. Nirmal, S.K, “Use of waste plastic in road construction and its future impacts”, *Indian Roads Congress*, 2020.
- [7]. The Coca-Cola Company, “Business & Sustainability Goals 2022”, *The Coca-Cola Company*, 2022.
- [8]. Amy, L. B., Shunli, W., Jenna, R. J., “The Chinese import ban and its impact on global plastic waste trade”, *Science advances-Research article*, 2018.
- [9]. Cao Lưu Ngọc Hạnh, Nguyễn Thị Bích Thuý, Huỳnh Văn Tươi, Đặng Huỳnh Giao và Trần Nguyễn Phương Lan, “Nghiên cứu vật liệu composite từ sợi thân cây bắp và nhựa polyethylene tỷ trọng cao tái chế”, *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, tập 60, số 2A, tr. 1-15, 2024.
- [10]. Nguyễn Võ Châu Ngân, Hồ Trung Hiếu, Nguyễn Thanh Hậu và Ngô Văn Ánh, “Nghiên cứu tận dụng rác thải nhựa gia công bê tông làm vật liệu xây dựng”, *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, tập 49, tr 41-46, Phần A (2017).
- [11]. Phạm Nguyễn Minh Trang, Trần Hồng Diễm, Trần Thị Hậu, Phùng Thị Thu Hường, “Biểu hiện, tính sạch và đánh giá sơ bộ hoạt tính phân hủy nhựa PET của enzyme PETase tái tổ hợp”, *Tạp chí khoa học và công nghệ - Đại học Nguyễn Tất Thành*, tập 6, Số 2, tr. 24-35, 2024.
- [12]. VTV Digital, “Reform Plastic - Từ rác thải nhựa đến vật liệu xây dựng ở Hội An”, *VTV Digital*, 2024.
- [13]. Nguyễn Hữu Phương, Bùi Lê Tuấn Anh, Nguyễn Văn Thanh, “Nghiên cứu chế tạo gạch nhựa vỉa hè từ phế thải nhựa”, *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng*, tập 14, số 02, 2024.
- [14]. TCVN 7570:2006, *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [15]. TCVN 7572:2006, *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [16]. TCVN 2682:2020, *Xi măng poóc lăng*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [17]. TCVN 6017:2015, *Xi măng - Phương pháp xác định thời gian đông kết và độ ổn định thể tích*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [18]. TCVN 13605:2023, *Xi măng - Phương pháp xác định độ mịn*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [19]. TCVN 6016:2011, *Xi măng - Phương pháp thử - Xác định cường độ*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [20]. TCVN 10302:2014, *Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa và xi măng*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [21]. TCVN 8827: 2020, *Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [22]. TCVN 4506: 2012, *Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [23]. TCVN 13605: 2023, *Xi măng - Phương pháp xác định độ mịn*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.