

# NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG KẾT HỢP CÁT TÁI CHẾ TỪ ĐÁ XI MĂNG VÀ THUỶ TINH PHÁT QUANG THAY THẾ CÁT TỰ NHIÊN TRONG VỮA XÂY DỰNG

Phạm Bá Tùng<sup>a,\*</sup>, Hà Minh Tuấn<sup>b</sup>, Cao Ngọc Thạch<sup>c</sup>, Đào Nguyễn Thanh Bình<sup>c</sup>,  
Nguyễn Văn Đoàn<sup>c</sup>, Nguyễn Tấn Thành<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Khoa Xây Dựng, Đại học Nguyễn Tất Thành, 300A Nguyễn Tất Thành,  
Quận 4, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam*

<sup>b</sup>*Viện Công nghệ Việt Nhật, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM,  
475A Điện Biên Phủ, Quận Bình Thạnh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

<sup>c</sup>*Khoa Xây Dựng, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM,  
475A Điện Biên Phủ, Quận Bình Thạnh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

Nhận ngày 24/7/2023, Sửa xong 28/10/2023, Chấp nhận đăng 01/11/2023

## Tóm tắt

Nghiên cứu này khảo sát tính khả thi của việc kết hợp cát tái chế từ xi măng (gọi tắt là cát tái chế) và thủy tinh phát quang thay thế cho một phần của hàm lượng cát trong vữa thông thường. Cát tái chế được mô phỏng bằng xi măng đã hoàn toàn thủy hoá trong 56 ngày. Thủy tinh phát quang được chế tạo bởi bột phát quang với hạt thủy tinh Vữa cát tái chế - thủy tinh phát quang (LM) được chế tạo bằng cách thay thế 40% hàm lượng cát bằng thủy tinh phát quang và cát tái chế sẽ thay thế lần lượt 10-30% hàm lượng cát còn lại. Kết quả cho thấy các mẫu đều đạt cường độ khoảng 45 MPa vào 28 ngày tuổi và các đặc trưng cơ lý khác như độ lưu động, sự co ngót, độ rỗng đều thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của vữa xây dựng. Các mẫu LM đều có cường độ ánh sáng hơn cường độ nhận biết của mắt thường trong 8 giờ. Qua đó, vữa cát tái chế – thủy tinh phát quang hoàn có thể được ứng dụng trong các công trình xây dựng, đặc biệt là các công trình phụ của kết cấu cầu đường.

*Từ khóa:* hồ xi măng tái chế; thủy tinh phát quang; cường độ nén; độ co ngót; đặc trưng phát quang.

FEASIBILITY OF INCORPORATING WASTE HYDRATED CEMENT PASTE AND LUMINESCENT GLASS AS SAND REPLACEMENT IN MORTARS

## Abstract

This study investigates the feasibility of incorporating waste hydrated cement paste (WHCP) and luminescent glass as sand replacements in conventional mortars. WHCP was simulated by cement particles totally hydrated after 56 days. Luminescent glass aggregates (LG) were produced by incorporating luminescent powder with glass pellets. WHCP-LG mortars (LM) were produced by replacing a fixed 40% amount of sand by LG while WHCP replaced the remaining amount of sand by 10-30%. Results showed that LM samples achieved a compressive strength of about 45 MPa at 28 days and the other physical properties such as flowability, drying shrinkage, and porosity all met the requirements of constructive mortars. All LM samples possessed the luminescent intensity higher than that noticed by human eyes for up to 8 h. Thereby, WHCP-LG mortars can be applied in construction projects, as auxiliary works for traffic structures.

*Keywords:* waste hydrated cement paste; luminescent glass aggregate; compressive strength; drying shrinkage; luminescent properties.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(1V\)-13](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(1V)-13) © 2024 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [pbtung@ntt.edu.vn](mailto:pbtung@ntt.edu.vn) (Tùng, P. B.)

## 1. Giới thiệu

Với tốc độ đô thị hóa nhanh và sự phát triển liên tục của ngành công nghiệp xây dựng, trong những năm gần đây tại Việt Nam, nhiều công trình lớn nhỏ được xây dựng ngày càng nhiều. Song song với đó, việc phá bỏ các công trình cũ là điều không thể tránh khỏi, gây ra những tác động đáng kể tới môi trường. Chất thải từ việc phá hủy các công trình xây dựng hay còn gọi là xà bần là các mảnh vụn nhỏ của gạch, đá, xi măng được tạo ra khi phá hủy công trình cũ và xây dựng công trình mới. Khi lượng xà bần lớn, các bãi tập kết xà bần khổng lồ được tạo ra, kèm theo đó là các chất thải độc hại làm ô nhiễm sẽ bị thải ra môi trường và ảnh hưởng đến đời sống và sức khỏe của người dân xung quanh khu vực tập kết. Chỉ tính riêng tại Hà Nội, UBND thành phố ước tính mỗi ngày phát sinh trên 2500 đến 3000 tấn chất thải rắn xây dựng, chưa kể phát sinh từ những dự án giao thông trong dân sinh [1]. Bên cạnh đó, rác thủy tinh thải ra từ việc tiêu thụ của các chai đồ uống là một trong những thành phần chính của dòng chất thải rắn và đã trở thành một gánh nặng đáng kể cho các bãi chôn lấp trên khắp thế giới. Ước tính trên thế giới, hằng năm có hơn 63 triệu tấn thủy tinh được sản xuất dành riêng cho các chai đồ uống và chỉ chưa đầy 31% trong số đó được tái chế ở các nước có ngành công nghiệp phát triển [2]. Với mức độ tiêu thụ rượu bia và các thức uống đóng chai thuộc nhóm hàng đầu thế giới, Việt Nam hoàn toàn có nguy cơ rất cao phải đối mặt với vấn đề môi trường từ rác thải thủy tinh trong thời gian gần vì mô hình tái chế rác thải thủy tinh vẫn chưa phát triển. Thêm vào đó, ảnh hưởng của rác thủy tinh lên môi trường là vô cùng to lớn vì đây là loại chất thải không có khả năng phân hủy trong điều kiện thường dẫn đến việc sát thương cho con người, tắc nghẽn cống rãnh và ô nhiễm nguồn nước. Ngoài ra, việc sử dụng quá mức cát tự nhiên (được nạo vét ở lòng sông) vào vật liệu nhô trong sản xuất bê tông truyền thống làm tăng những lo ngại về việc thiếu hụt trầm trọng nguồn tài nguyên thiên nhiên này. Năm 2015, nhu cầu cát xây dựng trên toàn quốc là khoảng 92 triệu m<sup>3</sup>/năm và đến năm 2020 là 130 triệu m<sup>3</sup>/năm trong khi cả nước chỉ có 559 cơ sở khai thác, chế biến cát xây dựng được cấp phép đang hoạt động với công suất đạt 28,985 triệu m<sup>3</sup>/năm [3], chỉ đáp ứng 24,2% nhu cầu hàng năm. Do đó việc tìm một nguồn vật liệu mới để thay thế cát sử dụng trong xây dựng là rất cần thiết để giảm gánh nặng lên nguồn tài nguyên thiên nhiên đang khan hiếm này.

Việc áp dụng phế thải của vật liệu xi măng trong việc thay thế các thành phần của bê tông như xi măng, cát cũng đã được nghiên cứu ở Việt Nam và trên thế giới. Ở Việt Nam, Nguyễn và cs. [4] đã chế tạo bê tông nhẹ với cường độ thấp từ rác thải của bê tông đã qua sử dụng. Ngô và cs. [5] đã sử dụng cốt liệu nhỏ của xà bần kết hợp với vụn gạch đỏ tái chế từ phế thải xây dựng để thay thế cát trong bê tông rỗng thoát nước. Poon và cs. [6] đã chế tạo bê tông mới bằng cách sử dụng xà bần kết hợp với tro bay và thay thế cốt liệu lớn và nhỏ trong bê tông. Kết quả cho thấy nếu hàm lượng thay thế là 25% cốt liệu nhỏ và 50% cốt liệu lớn thì mẫu thí nghiệm đạt được kết quả tăng đáng kể trong cường độ nén. Ren và cs. [7] dùng cát tái chế từ hồ xi măng được nghiền nhỏ (< 80  $\mu$ m) để thay thế cát trong bê tông và tìm thấy rằng cường độ nén sẽ tăng khoảng 47% nếu 15% cát được thay thế bởi xà bần. Nguyên nhân là bởi vì trong cát tái chế vẫn tồn tại một số hàm lượng xi măng vẫn chưa được thủy hoá hoàn toàn, khi tái trộn lại với nước, lượng xi măng này sẽ tiếp tục được thủy hoá, làm tăng độ kết dính của kết cấu bê tông, từ đó gia tăng cường độ nén.

Rác thải thủy tinh cũng được sử dụng rộng rãi trong việc thay thế cát trong bê tông và vừa nhô vào các tính chất hoá học tương tự với cát. Ling và cs. [8, 9] đã chứng minh khả năng thay thế cát bằng các vụn vỡ thủy tinh có được bằng cách nghiền nhỏ rác thải thủy tinh từ đồ uống. Kết quả cho thấy vừa thủy tinh – xi măng cho độ lưu động, cường độ uốn và nén tương đương với mẫu vừa cát – xi măng và thoả mãn các tiêu chuẩn cho vừa xây dựng. Thêm vào đó, ảnh hưởng từ phản ứng kiềm – silic, phản ứng thường thấy khi kết hợp thủy tinh với vật liệu xi măng, cũng nằm trong tiêu chuẩn cho phép. Xiao và cs. [10] đã chế tạo thủy tinh phát quang từ các loại rác thải thủy tinh được nghiền nhỏ

pha trộn với bột phát quang và một lớp keo dính. Thủy tinh phát quang này có khả năng hấp thụ ánh sáng mặt trời vào ban ngày và sẽ phát sáng vào ban đêm. Sau khi được chế tạo, thủy tinh phát quang được dùng để thay thế 100% cát trong vữa xi măng trang trí nhằm mục đích gia tăng tính thẩm mỹ. Kết quả cho thấy vữa xi măng kết hợp với thủy tinh phát quang có các tính chất cơ lý như cường độ nén, uốn, độ lưu động, độ co ngót, độ rỗng thoả mãn tiêu chuẩn cho phép về vữa trang trí. Thêm vào đó, vữa thủy tinh phát quang có thể phát sáng lên đến 8 giờ sau khi tắt nắng. Tuy nhiên, một hạn chế của việc sử dụng thủy tinh phát quang là sự giảm đi đáng kể của cường độ nén tiêu chuẩn (khoảng 30%) so với mẫu vữa thông thường sử dụng cát. Nguyên nhân là do lớp keo dính trên bề mặt thủy tinh phát quang. Lớp keo này có mục đích gắn kết bột phát quang vào thủy tinh, tuy nhiên đồng thời sau khi trộn, phần keo này cũng bao quanh lấy các hạt xi măng làm giảm độ thủy hoá với nước dẫn đến việc sụt giảm về cường độ.

Kết quả từ những nghiên cứu trước đây của hai nguồn rác thải là cát tái chế từ xi măng (cát tái chế) và rác thủy tinh cho thấy rằng nếu thay thế cát bằng cốt liệu nhỏ cát tái chế sẽ làm tăng cường độ nén nhờ vào sự tăng cường các phản ứng thủy hoá của thành phần xi măng trong xà bần. Mặt khác, thủy tinh phát quang khi thay thế cát sẽ làm giảm cường độ do sự thủy hoá bị giảm. Do đó, nghiên cứu này tập trung khảo sát sự khả thi trong việc kết hợp giữa cát tái chế và thủy tinh phát quang nhằm thay thế cho cát dùng trong vữa xây dựng với mục đích tận dụng khả năng tăng cường thủy hoá của cát tái chế để tăng cường độ cho vữa thủy tinh phát quang. Cát tái chế từ hồ xi măng sẽ được mô phỏng từ hỗn hợp của xi măng và nước và bảo dưỡng trong khoảng 56 ngày. Thủy tinh phát quang sẽ được chế tạo theo phương pháp của Gao và cs. [11]. Các mẫu vữa sau khi được đúc trải qua hai thí nghiệm chính: (i) kiểm tra đặc tính cơ lý và (ii) kiểm tra đặc tính phát quang. Thành phẩm của quá trình này, còn được gọi là vữa cát tái chế – thủy tinh phát quang, sẽ tận dụng được hai nguồn rác thải từ hồ xi măng và thủy tinh, đồng thời giảm đi gánh nặng về tài nguyên cát trong ngành công nghiệp xây dựng. Hơn nữa, loại vữa này có thể hấp thụ ánh sáng mặt trời vào ban ngày và phát ra ánh sáng vào ban đêm, mang tính thẩm mỹ cao và rất thích hợp được sử dụng làm công trình phụ chiếu sáng ở các kết cấu cầu đường nhằm giảm đi nguồn năng lượng điện.

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Vật liệu

#### a. Xi măng

Nghiên cứu này sử dụng loại xi măng PCB40 có nguồn gốc từ công ty Sao Mai. Xi măng có khối lượng riêng vào khoảng  $3,09 \text{ g/cm}^3$  được đo bằng phương pháp bình tỉ trọng và đảm bảo hạn sử dụng của xi măng dưới 3 tháng và đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 2682:2009 [12] về Xi măng Poóc-lăng - Yêu cầu kỹ thuật.

#### b. Thủy tinh

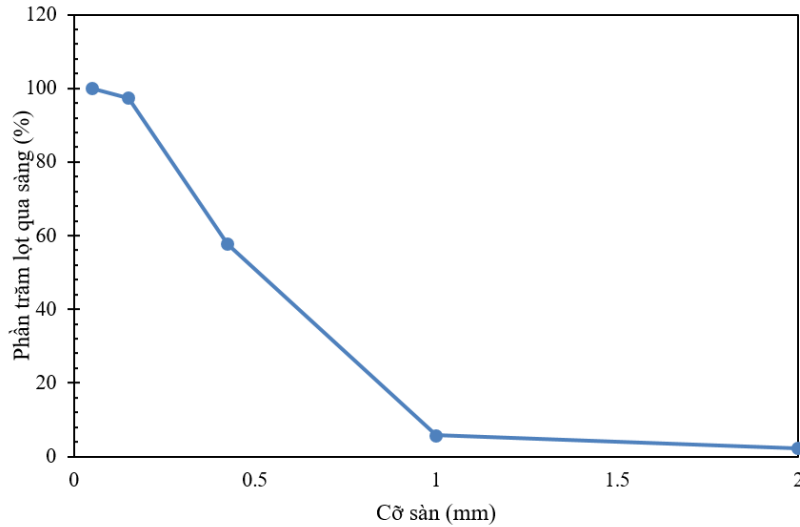
Do để tối giản cho việc nghiên cứu, thay cho rác thải thủy tinh từ các chai đồ uống, thủy tinh sử dụng trong nghiên cứu này được mua trên thị trường và có hình dạng cầu đẹp với kích thước tương đối đồng nhất vào khoảng 1,5 - 2 cm và khối lượng riêng vào khoảng  $2,45 \text{ g/cm}^3$ . Nguyên nhân của sự lựa chọn trên nhằm đạt được sự đồng bộ về hình dạng của thủy tinh cũng như tăng độ sáng và tính thẩm mỹ cho vữa.

#### c. Bột phát quang

Bột phát quang sử dụng trong nghiên cứu là loại bột photpho  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}/\text{Dy}^{3+}$  với kích cỡ hạt vào khoảng 20~40  $\mu\text{m}$  có màu vàng xanh. Đây là loại bột phát quang tốt nhất trên thị trường, thường xuyên được sử dụng trong các vật dụng phát quang [13]. Thời gian phát quang sau khi tắt sáng là khoảng 12 giờ với cường độ sáng duy trì là 0,41 lux [14].

d. Cát

Cát sử dụng trong nghiên cứu là cát vàng được sử dụng phổ biến trong ngành xây dựng. Khối lượng riêng của cát vào khoảng  $2,5 \text{ g/cm}^3$  và cấp phối cát được thể hiện trong Hình 1.

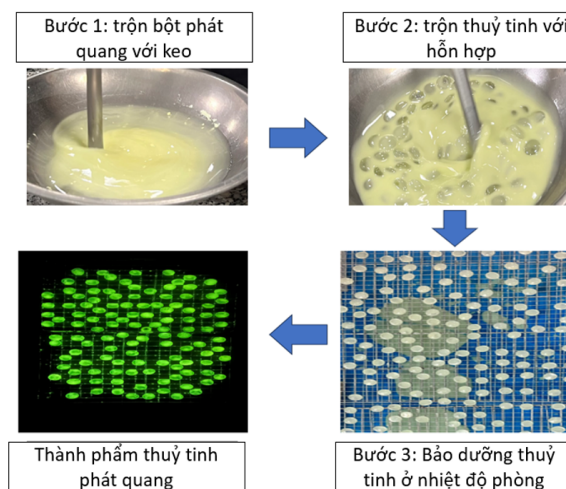


Hình 1. Cấp phối của cát

e. Cát tái chế từ đá xi măng

Cát tái chế dùng cho nghiên cứu được lấy từ những mẫu xi măng kết hợp với nước với tỉ lệ 0,4. Sau khi trộn, các mẫu sẽ được đổ vào khuôn vữa có kích thước  $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ . Sau 24 giờ, các mẫu sẽ được tháo khuôn và bảo dưỡng trong môi trường nước trong 56 ngày. Sau đó, các mẫu sẽ được nghiền nhỏ và sàng qua mắt sàng 2 mm trước khi được dùng để thay thế cát trong các mẫu vữa.

f. Thủy tinh phát quang



Hình 2. Quy trình chế tạo thủy tinh phát quang

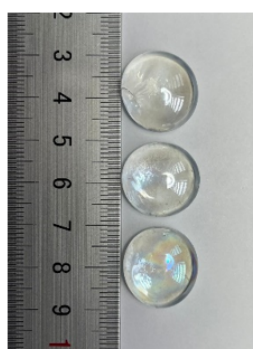
Thủy tinh phát quang được chế tạo theo phương pháp được phát triển bởi Gao [11] (Hình 2):

- Bước 1: Bột phát quang được trộn bằng tay với dung dịch keo resin với tỉ lệ Bột/Keo = 0,3 trong 5 phút. Dung dịch keo resin này là dung dịch trong suốt có lực dính cao, khả năng chống bong tróc thoả mãn tiêu chuẩn GB/T standards [15, 16].

- Bước 2: Phần hỗn hợp bột phát quang và keo sẽ được trộn với thủy tinh theo tỉ lệ thủy tinh:hỗn hợp = 5:1. Thời gian trộn là 5 phút.

- Bước 3: Hỗn hợp sẽ được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng trong 6 giờ khi keo đã đạt độ sánh nhất định và bám dính trên bề mặt thủy tinh. Thủy tinh lúc này sẽ được đặt lên vỉ lưới để phơi đến khi khô keo hoàn toàn.

Lưu ý rằng sau khi phủ bột phát quang thì kích thước của thủy tinh phát quang thay đổi không đáng kể vào khoảng 0,1–0,2 cm so với thủy tinh ban đầu (Hình 3).



(a) Thủy tinh ban đầu



(b) Thủy tinh sau khi đã phủ bột phát quang

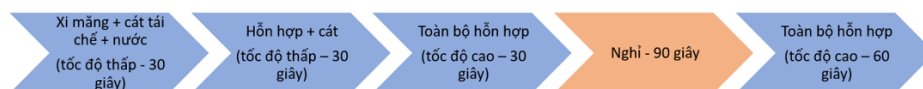
Hình 3. Kích thước thủy tinh sau khi đã phủ bột phát quang

#### g. Vữa cát tái chế – xi măng (RM)

Nghiên cứu này cũng tiến hành khảo sát khả năng thay thế cát của cát tái chế thông qua các mẫu vữa cát tái chế – xi măng (RM) trong đó cát tái chế thay thế cho 0, 10, 20, 30, 40, 100% theo khối lượng của cát. Tỷ lệ nước/xi măng (N/XM) của mẫu vữa được chọn cố định là 0.5. Tỉ lệ khối lượng của cát/xi măng là 3:1. Cấp phối của các trường hợp được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Cấp phối của các mẫu vữa RM

Mẫu vữa	Cát	Xi măng	Cát tái chế		Nước
	(g)	(g)	(g)	%	(g)
RM0	1350	450	0	0%	225
RM1	1215	450	135	10%	225
RM2	1080	450	270	20%	225
RM3	945	450	405	30%	225
RM4	810	450	540	40%	225
RM10	0	450	1350	100%	225



Hình 4. Quy trình trộn của các mẫu RM

Quy trình trộn các mẫu RM (Hình 4) được thực hiện trong tổng thời gian là 240 giây sử dụng máy trộn vừa trong phòng thí nghiệm với các bước như sau:

- Bước 1: Xi măng, cát tái chế và nước sẽ được trộn với tốc độ thấp trong 30 giây.
- Bước 2: Cát sẽ được từ từ đổ vào trong cối trộn trong khi hỗn hợp vẫn được trộn ở tốc độ thấp.

Thời gian của bước này là 30 giây.

- Bước 3: Hỗn hợp sẽ được trộn với tốc độ cao trong 30 giây.
- Bước 4: Hỗn hợp sẽ được cho nghỉ trong 90 giây.
- Bước 5: Hỗn hợp RM sẽ được trộn với tốc độ cao trong 60 giây.

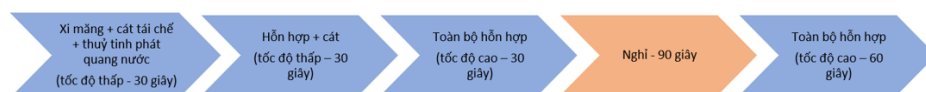
Sau khi quá trình trộn hoàn tất, hỗn hợp RM sẽ được cho vào khuôn có kích thước  $40 \times 40 \times 160$  mm và đặt lên bàn dần và tiến hành dần 60 lần trong 1 phút. Sau đó, các mẫu sẽ được bảo dưỡng theo nhiệt độ phòng trong 24 giờ trước khi được tháo khuôn và bảo dưỡng trong môi trường nước đến thời điểm thực hiện thí nghiệm tiếp theo.

#### h. Vữa cát tái chế – thủy tinh phát quang (LM)

Dựa trên kết quả cường độ của các mẫu RM được trình bày trong phần 4.1, hàm lượng cát tái chế thay thế cát không nên vượt quá 30% trong nghiên cứu này. Do đó, vữa cát tái chế-thủy tinh phát quang (LM) sẽ được chuẩn bị với tỉ lệ N/XM cố định là 0,4 trong đó thủy tinh phát quang và cát tái chế sẽ thay thế cho cát. Cụ thể, tỉ lệ xi măng : thủy tinh phát quang: cốt liệu là 1: 0,4 : 0,6. Đây là tỉ lệ tối ưu về cường độ nén và khả năng phát quang được trình bày trong bài nghiên cứu của Xiao và cs. [17]. Phần cốt liệu của vữa cát tái chế – thủy tinh phát quang sẽ bao gồm cát và cát tái chế. Tỉ lệ xi măng:thủy tinh phát quang được giữ cố định là 1:0.4 và cát tái chế sẽ thay thế 0, 10, 20, 30% cát theo khối lượng được kí hiệu LM-0:4. Chi tiết về cấp phối của LM sẽ được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Cấp phối của mẫu vữa cát tái chế – thủy tinh phát quang

Mẫu	Xi măng (g)	Thủy tinh phát quang (g)	Cát (g)	Cát tái chế (g)	Nước (g)
LM0	1000	400	600	0	400
LM1	1000	400	540	60	400
LM2	1000	400	480	120	400
LM3	1000	400	420	180	400



Hình 5. Quy trình trộn của các mẫu LM

Quy trình trộn các mẫu LM (Hình 5) được thực hiện tương tự như các mẫu RM trong đó thủy tinh phát quang được cho vào ở Bước 5:

- Bước 1: Xi măng, cát tái chế và nước sẽ được trộn với tốc độ thấp trong 30 giây.
- Bước 2: Cát sẽ được từ từ đổ vào trong cối trộn trong khi hỗn hợp vẫn được trộn ở tốc độ thấp.

Thời gian của bước này là 30 giây.

- Bước 3: Hỗn hợp sẽ được trộn với tốc độ cao trong 30 giây.
- Bước 4: Hỗn hợp sẽ được cho nghỉ trong 90 giây.
- Bước 5: Thủy tinh phát quang sẽ được cho vào hỗn hợp và sẽ được trộn với tốc độ cao trong 60 giây.



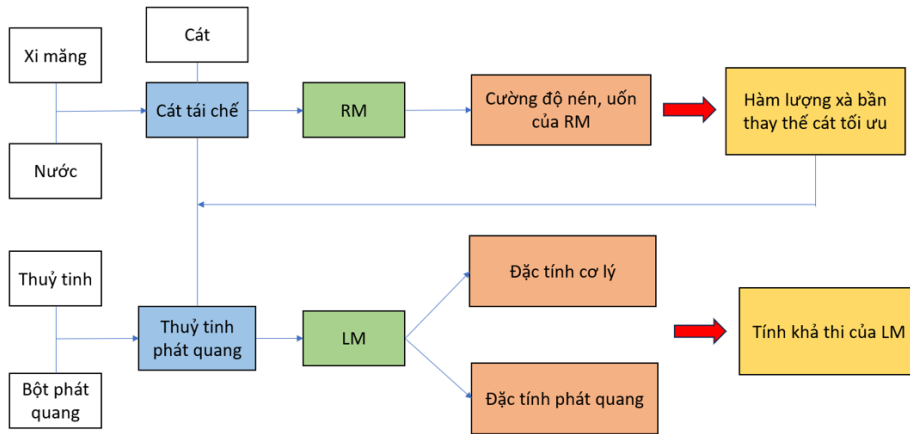
Sau khi quá trình trộn hoàn tất, vữa LM sẽ được cho vào khuôn có kích thước  $40 \times 40 \times 160$  mm và đặt lên bàn dần và tiến hành dần 60 lần trong 1 phút. Sau đó, các mẫu sẽ được bảo dưỡng theo nhiệt độ phòng trong 24 giờ trước khi được tháo khuôn và bảo dưỡng trong môi trường nước đến thời điểm thực hiện thí nghiệm tiếp theo.

#### i. Phương pháp nghiên cứu

Quy trình nghiên cứu được thể hiện ở Hình 6 được chia làm 2 giai đoạn chính:

- Giai đoạn 1: Khảo sát cường độ chịu nén và uốn của các mẫu RM so với mẫu vữa thông thường (RM0). Dựa trên kết quả, xác định ảnh hưởng của hàm lượng của cát tái chế lên cường độ của vữa và từ đó xác định được hàm lượng tối ưu thay thế của cát.

- Giai đoạn 2: Dựa trên kết quả của giai đoạn 1, các mẫu vữa LM sẽ được chuẩn bị trong đó cát tái chế và thủy tinh phát quang sẽ thay thế một phần của cát. Các mẫu LM ở các ngày tuổi khác nhau sẽ được kiểm tra đặc tính cơ lý (độ lưu động, cường độ nén và uốn, độ co ngót) và kiểm tra đặc tính phát quang (cường độ sáng ban đầu, thời gian phát quang, độ bền chất phát quang...).



Hình 6. Quy trình nghiên cứu

### 3. Thí nghiệm

#### 3.1. Thí nghiệm đặc tính cơ lý

##### a. Khối lượng đơn vị thể tích

Khối lượng thể tích của mẫu sẽ được xác định tại thời điểm sau khi trộn và sau 28 ngày bảo dưỡng. Thí nghiệm này nhằm xác định sự tin cậy của quá trình trộn. Lưu ý rằng, mẫu sau 28 ngày bảo dưỡng trong môi trường nước sẽ được cho vào lò nung với nhiệt độ  $105^{\circ}\text{C}$  trong 24 giờ trước khi được đo khối lượng.

Khối lượng thể tích thực nghiệm của mẫu sẽ được tính toán theo công thức (1):

$$\rho_{TN} = \frac{M_{TN}}{V_{TN}} \quad (1)$$

với  $\rho_{TN}$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $M_{TN}$  (g);  $V_{TN}$  ( $\text{cm}^3$ ) lần lượt khối lượng thể tích, khối lượng và thể tích thực nghiệm của các mẫu LM.

Kết quả thực nghiệm này sẽ được so sánh với kết quả tính toán được tính toán dựa trên tỉ số tổng khối lượng và tổng thể tích của từng thành phần của mẫu vữa theo công thức (2):

$$\rho_{TT} = \frac{\sum M_i}{\sum V_i} \quad (2)$$

với  $\rho_{TT}$  (g/cm<sup>3</sup>) là khối lượng thể tích tính toán của mẫu;  $M_i$  (g);  $V_i$  (cm<sup>3</sup>) lần lượt là khối lượng và thể tích của các thành phần cấu tạo nên các mẫu LM bao gồm xi măng, cát, nước, cát tái chế và thủy tinh phát quang.

Bảng 3 thể hiện khối lượng thể tích khô của xi măng, cát, cát tái chế, thủy tinh phát quang đo được thông qua thí nghiệm tỉ trọng kế. Phần cát tái chế được dùng để chế tạo vữa có khối lượng riêng  $\sim 1,94$  g/cm<sup>3</sup>.

Bảng 3. Khối lượng thể tích khô của vật liệu đo bằng phương pháp tỉ trọng kế

	Xi măng	Cát	Nước	Cát tái chế	Thủy tinh
Khối lượng thể tích khô (g/cm <sup>3</sup> )	3.09	2.5	1	1.94	2.45

Qua đó khối lượng thể tích tính toán của các mẫu vữa LM dựa trên công thức (2) có thể được viết lại thành công thức (3) như sau:

$$\rho_{LM} = \frac{M_n + M_{XM} + M_c + M_{ctc} + M_{TT}}{V_n + V_{XM} + V_c + V_{ctc} + V_{TT}} \quad (3)$$

với  $\rho_{LM}$  (g/cm<sup>3</sup>) là khối lượng thể tích của vữa LM,  $M_{XM}$ ,  $M_n$ ,  $M_c$ ,  $M_{ctc}$ ,  $M_{TT}$  (g) lần lượt là khối lượng của xi măng, nước, cát, cát tái chế, thủy tinh phát quang,  $V_{XM}$ ,  $V_n$ ,  $V_c$ ,  $V_{ctc}$ ,  $V_{TT}$  (cm<sup>3</sup>) lần lượt là thể tích của xi măng, nước, cát, cát tái chế và thủy tinh phát quang.

#### b. Độ lưu động

Độ lưu động của các mẫu vữa được xác định dựa trên tiêu chuẩn RFNARC [18]. Sau khi trộn, các mẫu vữa được đổ vào khuôn hình côn với đường kính trong đáy lớn là 100 mm, đường kính trong đáy nhỏ là 70 mm và chiều cao là 60 mm. Khi vữa đã đổ đầy côn, dùng dao phẳng gạt phần bề mặt và sau đó từ từ nhấc côn lên. Đường kính đáy của khối vữa theo hai chiều vuông góc sẽ được đo đến độ chính xác là 1 mm. Độ chảy của vữa là trung bình cộng của hai giá trị trên.

#### c. Cường độ chịu nén và uốn

Các mẫu vữa LM sau 1, 7, 28 ngày sẽ được tiến hành đo cường độ chịu uốn 3 điểm theo tiêu chuẩn ASTM C348 [19]. Các mẫu thử sẽ chịu tải ở vị trí trung điểm và được đặt trên 2 điểm đỡ có khoảng cách 100 mm. Máy đo cường độ có công suất 300 kN được sử dụng, và tốc độ dịch chuyển là 0,10 mm/phút. Mỗi kết quả đại diện cho giá trị trung bình của ba mẫu.

Thí nghiệm đo cường độ chịu nén sẽ được tiến hành theo tiêu chuẩn ASTM C349 [20] với tốc độ gia tải là 2,4 kN/s. Đối với mỗi nhóm mẫu, sáu mẫu vữa có được sau thí nghiệm cường độ chịu uốn sẽ được sử dụng.

### 3.2. Thí nghiệm đặc tính phát quang

#### a. Đặc tính phát quang

Để nghiên cứu đặc tính phát quang, các mẫu LM với độ tuổi 28 ngày sau khi đã uốn sẽ xuất hiện phần thủy tinh lộ ra. Các đặc tính phát quang sẽ được đặc trưng bởi cường độ ánh sáng phát ra bởi phần thủy tinh này. Thí nghiệm đặc tính phát quang dựa trên tiêu chuẩn GB/T 24981.2-2010 [21]. Các mẫu ban đầu sẽ được đặt trong phòng hoàn toàn tối trong 48 giờ để hoàn toàn loại bỏ sự phát quang của thủy tinh. Sau đó, các mẫu sẽ được phơi dưới ánh sáng mặt trời trong 1 giờ trước khi được đem trở lại vào phòng tối. Tại đây, cường độ ánh sáng của các mẫu sẽ được đo tại các thời điểm 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 giây và 2, 3, 5, 10, 20, 40, 60, 480 phút sử dụng máy đo cường độ ánh sáng Benetech



GM1010. Từ đó, cường độ sáng ban đầu (đo tại lúc 0s) và đường cong tắt sáng và các đặc trưng phát quang sẽ được xác định dựa trên công thức (4) [22, 23]:

$$I(t) = I_f + A_1 e^{-t/\tau_1} + A_2 e^{-t/\tau_2} \quad (4)$$

với  $I_f$  là cường độ sáng yếu nhất có thể đo được,  $A_1, A_2$  là các hằng số,  $\tau_1, \tau_2$  là các hệ số giảm quang.

Một lưu ý quan trọng là quá trình đo đặc tính phát quang được thực hiện trên các phần thủy tinh lộ ra có được sau quá trình uốn, do đó tổng thể tích phần thủy tinh được lộ ra ở các mẫu là không hoàn toàn đồng đều và có thể ảnh hưởng đến kết quả đo đặc cường độ phát quang của các mẫu. Nhận thức được vấn đề trên, các mẫu được lựa chọn để đo cường độ phát quang đã được sàng lọc kỹ sao cho thể tích phần thủy tinh lộ ra là tương đối giống nhau (có thể tham khảo Hình 13), tuy nhiên vẫn không thể hoàn toàn đảm bảo tính đồng nhất về thể tích. Ngoài ra, việc nghiên cứu ảnh hưởng của phần thể tích thủy tinh lộ ra lên cường độ phát quang của các mẫu nằm ngoài phạm vi khảo sát của nghiên cứu này.

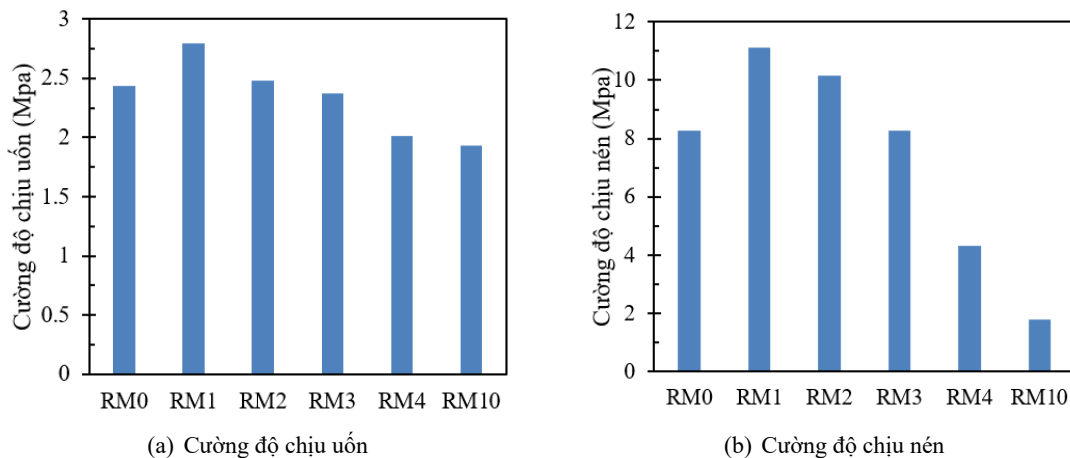
#### b. Độ bền phát quang

Để đánh giá độ bền tính chất phát quang dưới tác dụng của nước, phương pháp của Xiao và cs. [10] được áp dụng trong bài nghiên cứu này. Các mẫu LM sau khi thí nghiệm cường độ chịu uốn sẽ được ngâm trong nước trong một tuần. Độ phát quang của các mẫu ngâm này sau khi làm khô bề mặt được so sánh với những mẫu không ngâm.

### 4. Kết quả

#### 4.1. Cường độ chịu nén và uốn các mẫu RM

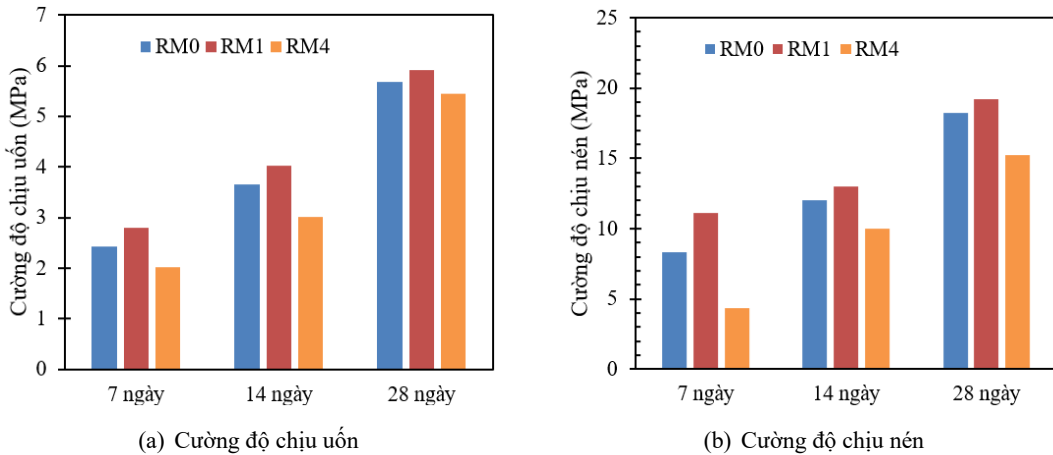
Hình 7 thể hiện quan hệ giữa phần trăm thay thế cát của cát tái chế tới cường độ uốn và nén mẫu RM ở 7 ngày tuổi. So với mẫu vừa chuẩn (RM0) đạt được kết quả chịu uốn là 2,43 MPa, các mẫu vừa RM1-RM3 có cường độ nén và uốn tương tự hoặc cao hơn trong khi RM4 và RM10 lại cho cường độ thấp hơn. Khi thay thế 10% lượng cát bằng cát tái chế, cường độ chịu uốn của mẫu đạt được là 2,8 MPa, cao nhất trong tất cả các mẫu RM và tăng khoảng 15% so với mẫu chuẩn. Các mẫu RM2 và RM3 với lượng thay thế là 20 và 30% của khối lượng cát cho cường độ chịu uốn tương đối, khác biệt dưới 5% so với mẫu chuẩn. Khi lượng thay thế cát đạt 40%, cường độ chịu uốn thu được là 2,01 MPa giảm 17% so với mẫu RM0 và sự giảm này tiếp tục tăng với mẫu RM10 chỉ đạt 79% giá trị cường độ uốn so với mẫu chuẩn.



Hình 7. Cường độ chịu uốn và nén ở 7 ngày tuổi của các mẫu RM.

Đối với cường độ chịu nén, kết quả tăng giảm tương tự như cường độ chịu uốn. Mẫu vữa chuẩn sau 7 ngày có cường độ chịu nén đạt 8,29 MPa. Kết quả này ít hơn 34% đối với mẫu RM1 (11,11 MPa) và 22% với mẫu RM2 (10,16 MPa). Khi thay thế 30% cát, mẫu RM3 có cường độ chịu nén đạt 8,28 MPa tương đồng với mẫu RM0. Các mẫu RM4 và RM10 có cường độ chịu nén giảm rất lớn so với mẫu vữa chuẩn. Cụ thể, khi lượng thay thế cát tái chế cho cát lên 40%, mẫu vữa thí nghiệm cho kết quả cường độ chịu nén đạt 4,32 MPa và giá trị này chỉ vào khoảng 52,5% so mẫu chuẩn trong khi mẫu RM10 chỉ đạt 2,1% so mẫu chuẩn với 1,87 MPa.

Kết quả trên tương đồng với kết quả thu được bởi Ren và cs. [7]. Vì trong cát tái chế chứa chủ yếu thành phần là xi măng đã được thủy hoá nên khi kết hợp với vữa mới, các phần xi măng chưa được thủy hoá sẽ tiếp tục thủy hoá để tạo thành chất liên kết trong vữa mới dẫn đến sự tăng cường độ. Thêm vào đó, cát tái chế có cấu trúc hạt góc cạnh hơn cát nên sẽ làm tăng lực ma sát giữa các hạt, dẫn đến sự tăng lên về cường độ. Tuy nhiên, nếu lượng thay thế quá cao thì cường độ nén về lâu dài sẽ bị ảnh hưởng. Điều này do vữa thiếu đi các silic hoạt tính đến từ cát, các silic này sẽ phản ứng với  $\text{Ca(OH)}_2$ , là một kết quả của quá trình thủy hoá thành phần clinker của xi măng, và tạo ra nhiều chất kết dính hơn [23]. Việc thay thế qua nhiều cát bằng cát tái chế sẽ làm giảm đi phản ứng giữa silic hoạt tính và  $\text{Ca(OH)}_2$  và khiến cho cường độ nén giảm đi.



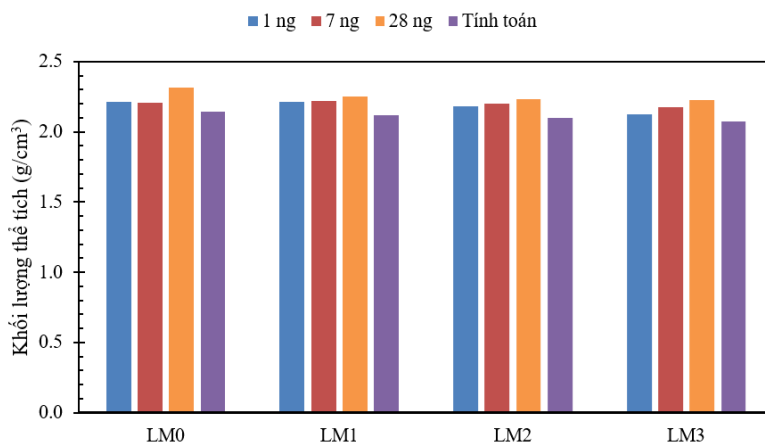
Hình 8. Cường độ chịu uốn và nén của các mẫu RM theo ngày tuổi

Lý giải trên được hỗ trợ bởi kết quả trong Hình 8 thể hiện cường độ nén và uốn ở 7, 14, 28 ngày tuổi của các mẫu RM. Khi so sánh hai mẫu RM0 và RM1, sự khác biệt về cường độ uốn và nén giữa hai mẫu giảm dần theo ngày tuổi. Cụ thể là đối với cường độ uốn thì tại 7 ngày tuổi sự chênh lệch là 15% giảm dần xuống còn 9% ở 14 ngày và 4% ở 28 ngày. Tương tự với cường độ chịu nén, sự chênh lệch cũng giảm dần từ 34% ở 7 ngày xuống còn 8% ở 14 ngày và 5% ở 28 ngày. Điều này thể hiện rõ sự tăng cường độ vào thời gian đầu nhưng chậm dần vào thời gian tiếp theo của các mẫu vữa kết hợp với cát tái chế. Điều này cũng đã được tìm thấy ở các bài nghiên cứu trước [24]. Qua các kết quả thu được, hàm lượng cát tái chế thay thế cho cát ở các mẫu vữa nên được duy trì dưới 30% theo khối lượng. Ngoài ra, khi tiến hành chế tạo vữa cát tái chế – thủy tinh phát quang (các mẫu LM), tỉ lệ N/XM có thể giảm xuống nhằm tăng mức độ thủy hoá của xi măng do thủy tinh phát quang có thể khiến xi măng bị mất một phần khả năng thủy hoá [8]. Do đó, các mẫu LM được cố định với tỉ lệ N/XM = 0,4 và tỉ lệ cát tái chế thay thế cát là dưới 30%.

## 4.2. Đặc tính cơ lý và phát quang của các mẫu LM

### a. Khối lượng thể tích

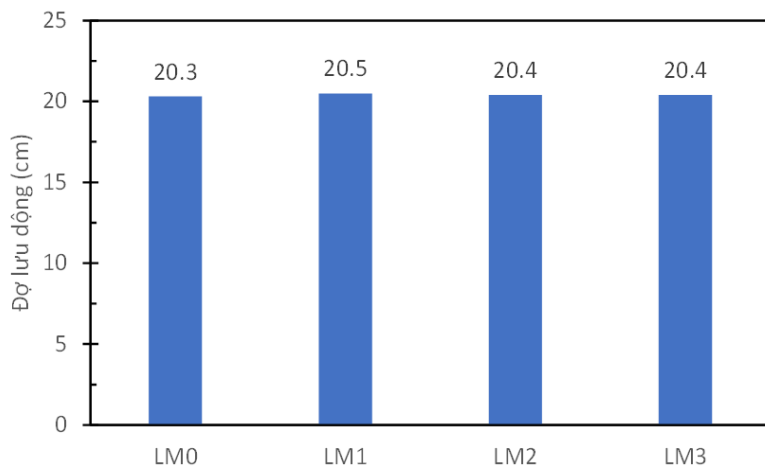
Hình 9 thể hiện khối lượng thể tích thực nghiệm và tính toán của các mẫu vữa LM. Dựa vào Hình 9, kết quả thu được bằng thí nghiệm và tính toán cho giá trị sai lệch không đáng kể, sự chênh lệch không nhiều hơn 5%. Qua đó chứng tỏ sự chính xác trong đo đạc và tiến hành đúc mẫu. Thêm vào đó, khi thay thế cát bằng cát tái chế thì khối lượng thể tích mẫu vữa giảm theo hàm lượng cát bị thay thế, điều này trùng khớp với việc khối lượng riêng của cát tái chế nhỏ hơn cát ( $1,94$  đối với  $2,5 \text{ g/cm}^3$ ). Tuy nhiên, sự thay đổi khối lượng riêng giữa mẫu LM0 (chỉ có cát) và LM3 (cát tái chế thay thế 30% cát) là không đáng kể.



Hình 9. Khối lượng thể tích các mẫu LM đo ở 1 và 28 ngày tuổi so sánh với giá trị tính toán

### b. Độ lưu động

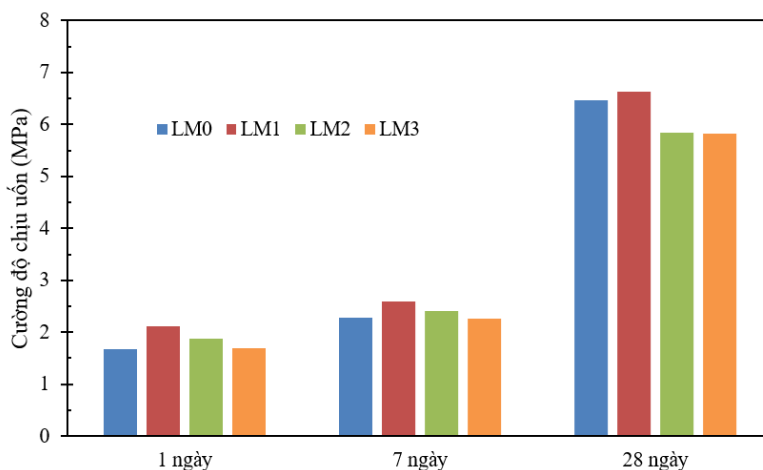
Hình 10 biểu hiện độ lưu động của các mẫu vữa LM được xác định theo tiêu chuẩn RFNARC [18]. Dựa vào Hình 10, kết quả thí nghiệm cho thấy sự tương đồng của độ chảy khi thay hàm lượng cát bằng cát tái chế. Nguyên nhân là do độ hút nước của cát và cát tái chế là tương tự nhau khi hàm lượng thay thế dưới 50% [7]. Thêm vào đó, các mẫu cũng thỏa điều kiện về độ chảy theo tiêu chuẩn RFNARC [18] và TCVN 4314:2022 [25] về vữa xây dựng.



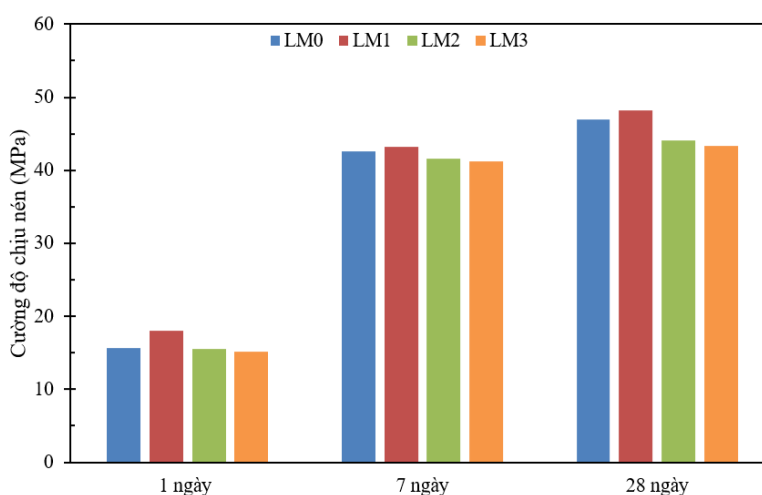
Hình 10. Độ lưu động của các mẫu vữa LM

## c. Cường độ uốn và nén

Hình 11 thể hiện cường độ chịu uốn của các mẫu LM theo các ngày tuổi và xu hướng tương đồng về giá trị đối với các mẫu RM ở các ngày tuổi khác nhau. Mẫu có cường độ cao nhất ở cả 3 ngày tuổi là LM1 với 2,12 MPa ở 1 ngày, 2,6 MPa ở 7 ngày và 6,63 MPa ở 28 ngày, cao hơn mẫu LM0 lần lượt là 27, 13 và 2%. Nói một cách khác, sự khác biệt về cường độ chịu uốn của mẫu LM1 so với mẫu LM0 cao nhất ở 1 ngày tuổi và giảm dần theo thời gian. Như đã nêu trên, sự giảm đi về độ lớn giữa hai mẫu liên quan đến phản ứng pozzolan giữa các silic hoạt tính có trong cát với  $\text{Ca(OH)}_2$  sinh ra trong quá trình thủy hoá. Điều tương tự cũng có thể quan sát thấy với các mẫu LM2 và LM3. Tại 1 ngày tuổi cường độ chịu uốn của LM2 và LM3 lần lượt là 1,88 và 1,69 MPa, cao hơn mẫu chuẩn lần lượt là 12 và 1%. Tuy nhiên, cường độ tại 28 ngày tuổi của các mẫu này lại thấp hơn mẫu chuẩn LM0 vào khoảng 9-11%.



Hình 11. Cường độ uốn theo các ngày tuổi của các mẫu LM



Hình 12. Cường độ nén theo các ngày tuổi của các mẫu LM

Xét về cường độ nén của các mẫu vữa LM được thể hiện trong Hình 12, tại 1 ngày tuổi, mẫu LM1 đạt cường độ 18,02 MPa cao hơn mẫu chuẩn 15% trong khi các mẫu LM2 và LM3 có cường độ nén tương đương với mẫu chuẩn, sai lệch không quá 5%. Đến 7 ngày tuổi, chỉ còn mẫu LM1 đạt cường độ nén cao hơn mẫu LM0 là 5% trong khi hai mẫu LM2 và LM3 có cường độ nén thấp hơn khoảng 2%.

Đến 28 ngày tuổi, mẫu LM1 và LM0 có cường độ nén tương đương vào khoảng 47-48 MPa trong khi hai mẫu LM2 và LM3 thấp hơn vào khoảng từ 6-8%.

Các kết quả này cho thấy thủy tinh phát quang không làm ảnh hưởng lớn đến sự thủy hoá của xi măng trong nghiên cứu này. Khi so sánh với kết quả nghiên cứu của Xiao và cs. [8], kết quả này có thể đến từ hai nguyên nhân:

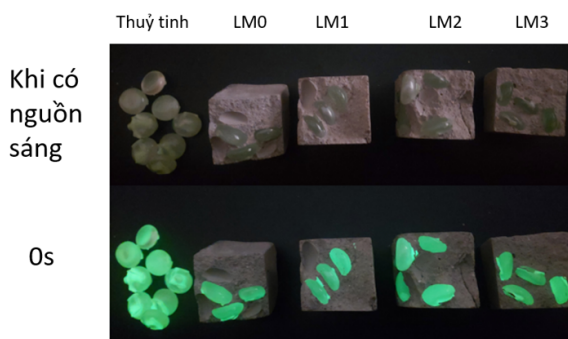
- Nghiên cứu của Xiao và cs. [10] thì thủy tinh phát quang thay thế cho 100% khối lượng cát dẫn đến hàm lượng hỗn hợp keo kết dính chất phát quang quá lớn tham gia vào phản ứng thủy hoá của xi măng. Hỗn hợp keo này tạo thành 1 màng bọc quanh xi măng, ngăn cản sự tiếp xúc của xi măng và nước, ngăn cản phản ứng thủy hoá làm giảm cường độ. Trong nghiên cứu hiện tại, hàm lượng thủy tinh phát quang chỉ thay thế 40% hàm lượng cát cộng thêm sự có mặt của cát tái chế làm tăng quá trình thủy hoá, khiến cho cường độ của các mẫu LM đạt giá trị cao.

- Trong nghiên cứu của Xiao và cs. [10], xi măng được sử dụng là loại xi măng trắng được dùng trong tô trát và trang trí, loại xi măng này được cấu tạo bằng những silicat canxi khác với xi măng đen thông thường được cấu tạo chính từ các hạt clinker. Nền độ thủy hoá của xi măng trắng thấp hơn và rất dễ bị tác động của các yếu tố khác [26]. Ngoài ra, loại chất kết dính dùng để tạo thủy tinh phát quang cũng có thể là nguyên nhân. Trong nghiên cứu hiện tại, chất kết dính có chứa thêm 1 phần chất tạo đông, và có thể ngăn cản sự tham gia của keo và quá trình thủy hoá. Tuy nhiên ảnh hưởng của các thành phần chất kết dính lên đặc trưng của vữa nằm ngoài qui mô khảo sát của nghiên cứu này.

Ngoài ra, cường độ chịu nén của các mẫu LM vào 28 ngày tuổi đạt giá trị tương đương hoặc lớn hơn 45 MPa, phù hợp với yêu cầu vữa M50 của vữa xây dựng theo TCVN 4314:2022 [25], cho thấy tính khả thi trong việc áp dụng loại vật liệu này trong ngành công nghiệp xây dựng.

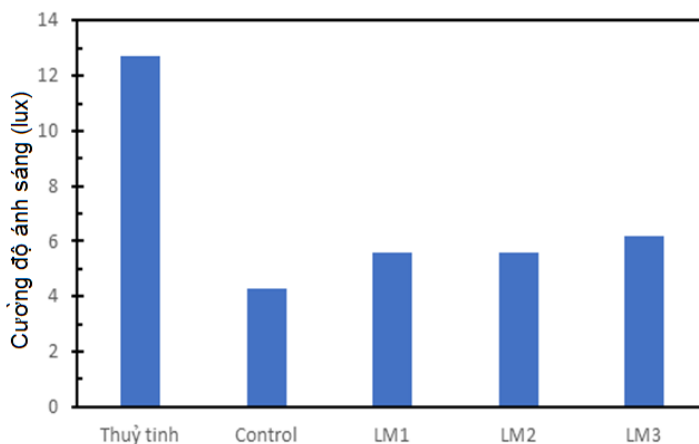
#### d. Cường độ sáng ban đầu

Hình 13 và 14 thể hiện cường độ sáng ban đầu của thủy tinh phát quang và vữa LM. Sau khi hấp thụ ánh sáng và được đưa vào phòng tối, cường độ sáng ban đầu được đo ngay sau khi mẫu được vào phòng tối. Dựa trên hình 13, kết quả thu được phù hợp với màu ánh sáng toả ra từ bột thủy tinh phát quang (màu vàng xanh). Điều này chứng tỏ bột phát quang không bị chuyển màu trong quá trình trộn vữa và cát tái chế không làm ảnh hưởng lên màu của thủy tinh phát quang. Theo He và cs. [27], ánh sáng màu vàng xanh có bước sóng quang học vào khoảng 450-700 nm, gần nhất với khả năng nhận biết ánh sáng của mắt người trong bóng tối.



Hình 13. Thủy tinh phát quang và các mẫu vữa LM khi có nguồn sáng và 0 s sau khi tắt nguồn sáng

Dựa vào Hình 14, kết quả cường độ sáng ban đầu của thủy tinh phát quang là 12,7 lux tương tự với kết quả thu được của Xiao và cs. [10]. Giá trị này cao hơn đáng kể so với các mẫu thủy tinh phát quang LM0-LM3 là ~7 lux. Sự giảm đáng kể này là do bề mặt của thủy tinh phát quang đã bao phủ bởi một lớp mỏng với các thành tố không phát quang như keo, thủy tinh và vữa. Điều này làm giảm

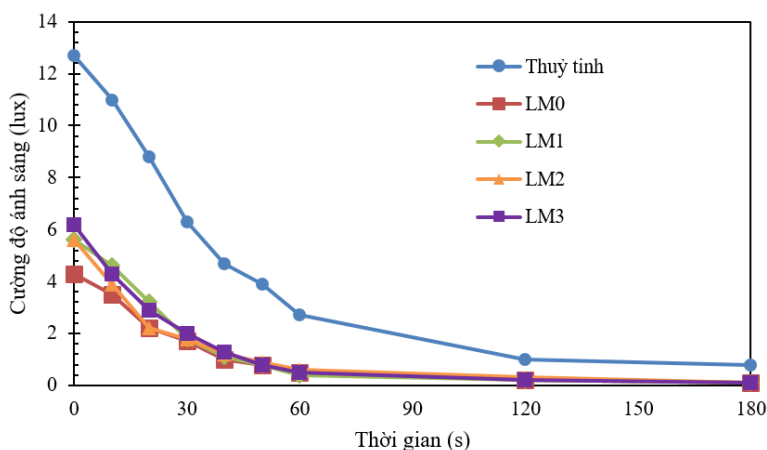


Hình 14. Cường độ chiếu sáng ban đầu (0s) của thủy tinh phát quang và các mẫu LM

khả năng hấp thụ và phát ra ánh sáng. Thêm vào đó, khi thủy tinh phát quang kết hợp với vữa thì chỉ một phần bề mặt của thủy tinh phát quang được tiếp xúc với ánh sáng, do đó khả năng phát sáng bị hạn chế. Những điều này dẫn đến độ phát sáng ban đầu sẽ yếu hơn đáng kể so với thủy tinh phát quang. Thêm vào đó, khoảng cách truyền ánh sáng ra bên ngoài của thủy tinh phát quang chắc chắn cao hơn mẫu LM vì một phần thể tích thủy tinh phát quang nằm bên trong lớp vữa khó hấp thụ ánh sáng và khoảng cách để ánh sáng truyền ra bên ngoài rất lớn. Ngoài ra, kết quả thí nghiệm cũng cho thấy việc thay thế cát tái chế cho cát không làm ảnh hưởng đến cường độ sáng của vữa.

#### e. Đường cong tắt sáng

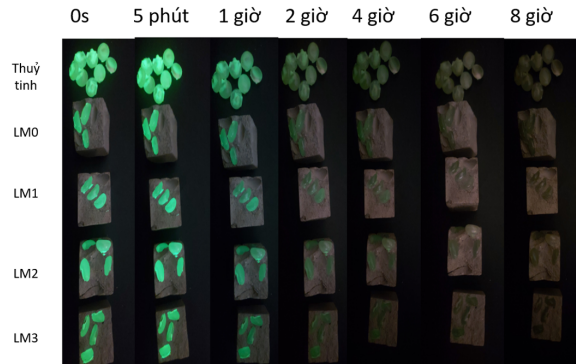
Hình 15 thể hiện đường cong tắt sáng của các mẫu LM và thủy tinh phát quang. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng các mẫu LM có đường cong tắt sáng tương tự nhau. Sau khi tắt nguồn sáng (0s), cường độ ánh sáng giảm một cách nhanh chóng và đạt ngưỡng dưới 1 lux sau 60 s. Kết quả thu được trùng khớp với kết quả của Xiao và cs. [10] khi sử dụng cùng loại bột phát quang. Tuy nhiên cường độ ánh sáng vẫn duy trì ở mức trên 0,1 lux trong thời gian trên 180 s và sau đó vượt qua thang đo của máy quang phổ. Tuy nhiên, dựa trên Hình 16 về thời gian có thể quan sát được ánh sáng của các mẫu, các mẫu vẫn duy trì cường độ ánh sáng đến 8 giờ sau khi tắt nguồn sáng. Nói cách khác, các mẫu LM vẫn đạt được cường độ ánh sáng cao hơn ngưỡng nhìn của người là  $3,2 \times 10^{-6}$  lux [23] đến 8 giờ sau khi



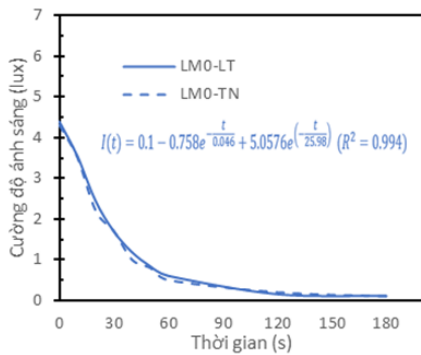
Hình 15. Đường cong tắt sáng thực nghiệm của thủy tinh phát quang và các mẫu LM



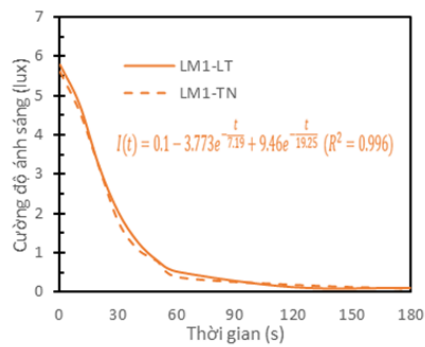
tắt sáng. Theo tiêu chuẩn chiếu sáng về đường bộ ở Việt Nam TCVN 5828:1984 [28], các đường cao tốc và đô thị có lưu lượng xe di chuyển ít hơn 500 xe/giờ thì phần chiếu sáng đến từ đèn led là dưới 0,8 lux. Lưu ý là trong nghiên cứu này, cường độ ánh sáng đo được từ các mẫu LM là đến từ các mẫu nhỏ có kích thước vào khoảng  $40 \times 40 \times 40$  mm nên cường độ ánh sáng phát ra sẽ nhỏ hơn các mẫu có kích thước lớn. Qua đó, các mẫu LM hoàn toàn có khả năng sử dụng làm các công trình phụ của đường bộ nhằm thay thế một phần các thiết bị chiếu sáng trên đường. Thời gian chiếu sáng thay thế có thể dao động từ 6-8 giờ tùy vào điều kiện của công trình đường bộ.



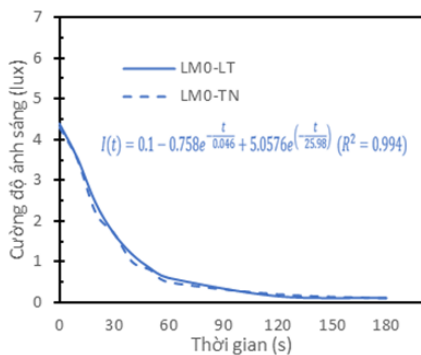
Hình 16. Hình ảnh phát sáng của các mẫu theo thời gian



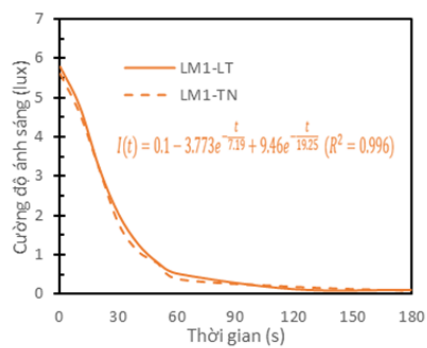
(a) LM0



(b) LM1



(c) LM2



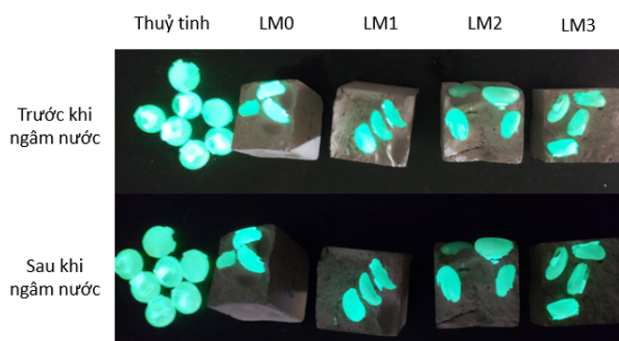
(d) LM3

Hình 17. Mô hình đường cong tắt sáng của các mẫu LM

Hình 17 thể hiện mô hình của đường cong tắt sáng ở các mẫu LM. Kết quả phân tích mô hình ở công thức (3) phù hợp với sự tắt sáng ở các mẫu. Điều này trùng khớp với kết quả thu được của Xiao và cs. [8] chứng tỏ việc sử dụng cát tái chế không làm ảnh hưởng đến các đặc tính phát quang của thủy tinh phát quang hay là bột phát quang.

#### f. Độ bền phát quang

Hình 18 thể hiện hình ảnh của các mẫu LM trước và sau khi ngâm nước. Kết quả thí nghiệm cho thấy không có sự thay đổi về độ sáng và bề mặt của các mẫu trước và sau khi ngâm nước. Điều này chứng tỏ khả năng bảo vệ của chất keo kết dính với các bột phát quang trên bề mặt thủy tinh cũng như khả năng ứng dụng loại vật liệu này cho các công trình đường bộ ở những nơi có điều kiện khí hậu ẩm ướt.



Hình 18. Hình ảnh các mẫu LM trước và sau khi ngâm nước vào lúc 0s

#### 4.3. Ước tính tác động về môi trường và năng lượng

Các kết quả về đặc trưng cơ lý cũng như đặc trưng phát quang của các mẫu LM đã có thể cho thấy khả năng ứng dụng của vữa cát tái chế - thủy tinh phát quang vào các công trình phụ ở các tuyến đường đô thị và cao tốc vào ban đêm khi lưu lượng xe không quá lớn. Qua đó, những lợi ích về vật liệu và năng lượng khi ứng dụng nghiên cứu này vào thực tiễn có thể được ước tính như sau:

Về vật liệu: theo TCVN 4314:2022 [25], thì  $1 \text{ m}^3$  vữa xi măng cát mịn với M50 sẽ cần khoảng  $1,12 \text{ m}^3$  cát tương ứng với khoảng 1350 kg cát. Nếu sử dụng các mẫu LM1 (mẫu cho cường độ nén cao nhất) thay cho xi măng cát mịn, thì  $1 \text{ m}^3$  vữa xây sẽ tiết kiệm được 50% khối lượng cát tương đương với 675 kg cát mịn. Ngoài ra,  $1 \text{ m}^3$  vữa xây cũng sẽ tận dụng được 135 kg cát tái chế từ hồ xi măng, và 540 kg mảnh vụn thủy tinh từ các chai đồ uống. Ứng dụng này mang tính hiệu quả môi trường cao.

Về năng lượng: theo TCVN 5828-1984 [28], thì mỗi 33-36 m đường bộ sẽ cần 2 đèn led chiếu sáng cho 2 bên. Đối với các đường lớn và cao tốc, những công trình có lưu lượng xe vào ban đêm rất thấp, thường được bố trí 2 làn đường nên sẽ cần 4 đèn led cho mỗi 33-36 m đường. Vậy ước tính mỗi km đường sẽ cần khoảng 120 đèn led. Mỗi đèn led trung bình sẽ tiêu thụ 150 W trong 1 giờ, do đó trên 1 km đường cao tốc sẽ tốn 183 kW trong 1 giờ. Nếu áp dụng nghiên cứu này vào các công trình phụ nhằm chiếu sáng vào ban đêm trong khoảng 6 giờ kể từ khi tắt ánh sáng mặt trời, thì sẽ tiết kiệm được 1098 kW đối với 1 km đường cao tốc.

#### 5. Kết luận

Nghiên cứu này đã thành công chế tạo một loại vữa thân thiện với môi trường và mang tính thẩm mỹ cao bằng cách kết hợp cát tái chế từ hồ xi măng cùng với thủy tinh phát quang để thay thế cho thành phần cát. Ứng dụng loại vữa này trong ngành vật liệu xây dựng sẽ có thể tận dụng 2 nguồn nguyên

liệu từ rác thải đó là cát tái chế từ hồ xi măng và rác thải thủy tinh cũng như giảm gánh nặng về tài nguyên cát đang dần trở nên khan hiếm. Dựa trên các kết quả thí nghiệm và phân tích, các kết luận sau có thể được rút ra:

- Các mẫu vữa LM hoàn toàn đáp ứng các yêu cầu về tính cơ lý của vữa xây dựng theo TCVN 4314:2022 [25]. Vào 28 ngày, cường độ nén trung bình của các mẫu vào khoảng 45-48 MPa, tương đương với vữa M50. Các chỉ số khác như độ lưu động, cường độ chịu uốn và độ giảm chiều dài cũng thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 4314:2022 [23]. Mẫu vữa LM1 với 10% cát được thay thế bằng cát tái chế cho cường độ cao nhất.

- Xét về các đặc tính phát quang, các mẫu vữa LM phát ra ánh sáng vàng xanh, hợp với màu của chất phát quang và có đường cong tắt sáng khớp với những mô hình đã được nghiên cứu trước. Việc kết hợp cát tái chế không làm ảnh hưởng đến độ sáng của thủy tinh phát quang.

- Các mẫu LM duy trì độ sáng cao hơn ngưỡng nhìn của mắt thường trong 8h. Chất phát quang cũng có độ bền tốt dưới điều kiện thời tiết ẩm ướt của Việt Nam, thích hợp để ứng dụng cho các công trình phụ nhằm hỗ trợ khả năng chiếu sáng.

- Ứng dụng thành công vật liệu này sẽ tiết kiệm được 675 kg cát mịn đồng thời tận dụng được 135 kg cát tái chế từ hồ xi măng và 540 kg vụn thủy tinh. Ngoài ra, khi ứng dụng cho công trình đường bộ sẽ có thể tiết kiệm được 1098 kW điện cho 1 km đường bộ.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn tồn tại một số mặt hạn chế có thể được khắc phục cho những nghiên cứu tương lai nhằm hoàn thiện hơn vật liệu để có thể đưa vào ứng dụng:

- Thủy tinh sử dụng trong nghiên cứu này là loại thủy tinh nhân tạo có hình dạng thống nhất, chưa hoàn toàn thể hiện phần rác thải thủy tinh.

- Ảnh hưởng của keo dính và chất làm rắn bề mặt lên sự thủy hoá của vữa cần được xem xét nghiên cứu. Điều này là cần thiết để mở rộng khả năng ứng dụng của loại vật liệu này trong ngành xây dựng.

- Việc đo đạc các đặc tính phát quang được thực hiện dựa trên các mặt gãy của mẫu sau thí nghiệm cường độ chịu uốn khiến cho thể tích phần thủy tinh chưa đồng bộ làm cho kết quả đo đạc không đảm bảo 100% tính chính xác. Sẽ cần nhiều nghiên cứu hơn để khảo sát tầm ảnh hưởng của phần thể tích đo đạc lên cường độ phát quang trước khi tiến hành áp dụng nghiên cứu này vào thực tế.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Hạnh, M. (2023). *Hà Nội: Tái bùng phát nạn đổ trộm rác, phế thải*. Báo Lao Động, 23/03/2023.
- [2] Harder, J. (2018). *Glass recycling - Current market trends*. Recovery.
- [3] Miên, M. (2022). *Thực trạng cát xây dựng: Khi cần vượt xa cung*. Báo xây dựng, 03/11/2022.
- [4] Thắng, N. C., Tuấn, N. V., Đức, H. N., Quảng, N. V., Anh, Đ. T. V., Thắng, H. V., Thanh, Đ. T. (2021). *Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ sử dụng hạt Polystyrene phòng nổ tái chế*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCVXD) - ĐHXD, 15(1V):72-83.
- [5] Tuấn, N. K., Minh, P. Q., Giang, N. H., Dũng, N. T. (2021). *Nghiên cứu ảnh hưởng của cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng đến tính chất của bê tông rỗng thoát nước*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCVXD) - ĐHXDHN, 15(6V):58-69.
- [6] Poon, C. S., Kou, S. C., Lam, L. (2002). *Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks*. Construction and Building Materials, 16(5):281-289.
- [7] Ren, P., Li, B., Yu, J.-G., Ling, T.-C. (2020). *Utilization of recycled concrete fines and powders to produce alkali-activated slag concrete blocks*. Journal of Cleaner Production, 267:122115.
- [8] Ling, T.-C., Poon, C.-S. (2011). *Properties of architectural mortar prepared with recycled glass with different particle sizes*. Materials & Design, 32(5):2675-2684.

- [9] Ling, T.-C., Poon, C.-S., Kou, S.-C. (2011). [Feasibility of using recycled glass in architectural cement mortars](#). *Cement and Concrete Composites*, 33(8):848–854.
- [10] Xiao, Y., Pham, B. T., Guo, M.-Z., Ling, T.-C. (2022). [Use of luminescent-glass aggregates for the production of decorative architectural mortar](#). *Journal of Building Engineering*, 50:104233.
- [11] Gao, B. (2015). *Ultra-long Afterglow Luminescent Glass Particles with Luminescent Coating Layer*. CN201420806633.
- [12] TCVN 2682:2009. *Xi măng Pooc Lăng*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [13] Shanker, V., Haranath, D., Swati, G. (2015). [Persistence Mechanisms and Applications of Long Afterglow Phosphors](#). *Defect and Diffusion Forum*, 361:69–94.
- [14] Wang, W., Sha, A., Lu, Z., Jia, M., Jiang, W., Liu, Z., Yuan, D. (2021). [Self-luminescent cement-based composite materials: properties and mechanisms](#). *Construction and Building Materials*, 269:121267.
- [15] GB/T 5210-2006. *Paints and Varnishes - Pull off Test for Adhesion*.
- [16] GB/T 1768-2006. *Paints and Varnishes - Determination of Resistance to Abrasion-Rotating Abrasive Rubber Wheel Method*.
- [17] Xiao, Y., Pham, B. T., Guo, M.-Z., Ling, T.-C. (2022). [Influence of luminescent powder type and characteristic on the glow light performance of architectural glass mortar](#). *Journal of Building Engineering*, 58: 105021.
- [18] RFNARC (2002). *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*. European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete System, Norfolk, UK.
- [19] ASTM C348 (2008). *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars*. American Society of Testing Materials.
- [20] ASTM C349 (2008). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure)*. American Society of Testing Materials.
- [21] GB/T 24981.2 (2010). *Test Methods for Rare Earth Long Residual Phosphors - Part 2: Determination of Relative Luminance*.
- [22] Berberan-Santos, M. N., Valeur, B. (2007). [Luminescence decays with underlying distributions: General properties and analysis with mathematical functions](#). *Journal of Luminescence*, 126(2):263–272.
- [23] Jiang, T., Wang, H., Xing, M., Fu, Y., Peng, Y., Luo, X. (2014). [Luminescence decay evaluation of long-afterglow phosphors](#). *Physica B: Condensed Matter*, 450:94–98.
- [24] Berodier, E., Scrivener, K. (2014). [Understanding the Filler Effect on the Nucleation and Growth of C-S-H](#). *Journal of the American Ceramic Society*, 97(12):3764–3773.
- [25] TCVN 4314:2022. *Vữa xây dựng*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [26] Richardson, I. G., Girão, A. V., Taylor, R., Jia, S. (2016). [Hydration of water- and alkali-activated white Portland cement pastes and blends with low-calcium pulverized fuel ash](#). *Cement and Concrete Research*, 83:1–18.
- [27] He, B., Gao, Y., Qu, L., Duan, K., Zhou, W., Pei, G. (2019). [Characteristics analysis of self-luminescent cement-based composite materials with self-cleaning effect](#). *Journal of Cleaner Production*, 225: 1169–1183.
- [28] TCVN 5828:1984. *Đèn điện chiếu sáng đường phố*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.