

# Tái sử dụng kính thải làm cốt liệu cho hỗn hợp bê tông

## Reuse of waste glass as fine aggregate for concrete mixtures

> LÊ ĐỨC HIỂN<sup>1</sup>; VÕ VĂN THẢO<sup>1\*</sup>; NGUYỄN NGỌC CHIẾN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Tôn Đức Thắng TP.HCM

<sup>2</sup>HVCH, Trường Đại học Tôn Đức Thắng TP.HCM

Email: leduchien@tdtu.edu.vn; [vovanthao@tdtu.edu.vn](mailto:vovanthao@tdtu.edu.vn)

### TÓM TẮT:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về tính công tác, cường độ nén, môđun đàn hồi và độ bền trong môi trường sulfate của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế từ kính thải thay thế cho cốt liệu mịn tự nhiên (cát). Theo đó, các hỗn hợp bê tông được tạo ra bằng cách thế cát bởi kính thải với tỉ lệ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 theo khối lượng và tỉ lệ nước với xi măng lần lượt là 0.5, 0.6, 0.7. Kết quả cho thấy bê tông tươi sử dụng cốt liệu tái chế từ kính thải có tính linh động giảm. Tuy nhiên, cường độ chịu nén, môđun khi nén tĩnh và độ bền được cải thiện đáng kể so với bê tông thông thường khi tỉ lệ thay thế cốt liệu và lượng nước sử dụng phù hợp.

**Từ khóa:** Kính thải; tính công tác; cường độ chịu nén; độ bền.

### ABSTRACT:

This paper presents the research results on workability, compressive strength, elastic modulus and durability in sulfate environment of concrete using recycled aggregate from waste glass to replace natural fine aggregate (sand). Accordingly, concrete mixtures are created by replacing sand by waste glass in the ratio of 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 by weight and the ratio of water to cement is 0.5, 0.6, 0.7. The results show that concrete using recycled aggregate from waste glass has reduced workability. Nevertheless, compressive strength, static modulus and durability are significantly improved compared with conventional concrete when aggregate replacement ratio and water use are appropriate.

**Keywords:** Waste glass; workability; compressive strength; durability.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xử lý chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) đang là thách thức lớn đối với nhiều quốc gia mà đặc biệt là CTRSH ở các đô thị. Theo kết quả báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia chuyên đề « Quản lý chất thải rắn sinh hoạt » của Bộ Tài nguyên và Môi trường [1], năm 2010 khối lượng CTRSH ở nước ta là 44.400 tấn/ngày và con số này ở năm 2019 là 64.658 tấn/ngày, tăng 44%. Trong thành phần CTRSH thì

kính thải chiếm từ 0.5%-2.0% về khối lượng. Hầu hết CTRSH này không được tái chế mà chỉ xử lý theo phương pháp chôn lấp, đốt hoặc theo các dòng chảy tự nhiên ra biển gây ảnh hưởng đến môi trường. Mặt khác, nguồn cát tự nhiên phục vụ cho xây dựng ngày càng khan hiếm, quá trình khai thác cát sông không những làm cạn kiệt tài nguyên mà còn chứa đựng nhiều nguy cơ và hệ lụy đến môi trường sống. Vì vậy, sử dụng kính thải - một thành phần đáng kể trong CTRSH làm cốt liệu tái chế thay thế cho cát tự nhiên trong sản xuất bê tông có ý nghĩa trong bảo tồn tài nguyên thiên nhiên, góp phần tích cực bảo vệ môi trường và phù hợp với tiêu chuẩn định hướng phát triển bền vững của ngành Xây dựng trong giai đoạn hiện nay [2]

Bê tông sử dụng kính thải phối hợp với cát tự nhiên làm cốt liệu nhỏ có những tính chất khác biệt so với bê tông thông thường. Về tính công tác, ảnh hưởng của kính thải đối với độ sụt bê tông có sự khác nhau ở các nghiên cứu trước đây. Theo Bashar Taha và Ghassan Nounu [3] tính công tác của bê tông giảm 20.83% và 33.33% khi thay thế cát bằng kính thải có kích cỡ hạt nhỏ hơn 5mm tương ứng với tỉ lệ 50% và 100%. Kết quả cũng tương tự được tìm thấy trong nghiên cứu của Chen và cộng sự [4], độ sụt của bê tông giảm theo tỉ lệ thay thế cát bằng kính thải 10%, 20%, 30%, 40%, 50% khi kích cỡ hạt của kính thải nằm trong khoảng (0.3-0.038mm) và có 40% hàm lượng <0.15mm. Tuy nhiên, ở một số nghiên cứu khác, độ sụt của bê tông có sử dụng kính thải có thể được tăng lên. Esraa Emam Ali và Sherif H. Al-Tersawy [5] đã thay thế cát bằng kính thải có kích cỡ (5-0.075mm) với các tỉ lệ 10%, 20%, 30%, 40%, 50% để có hỗn hợp bê tông có độ sụt tăng lên lần lượt 1.52%, 4.54%, 7.58%, 10.61%, 12.12%. Cũng với tỉ lệ thay thế này, khi kích cỡ hạt của kính thải từ (2.36-0.3mm), Sharifi và cộng sự [6] cũng đã thu được kết quả tương tự. Về đặc tính cường độ của bê tông đông cứng, nhiều nghiên cứu cho rằng khi tỉ lệ thay thế cát tự nhiên bằng kính thải không quá 30%, cường độ nén của bê tông tăng lên còn khi tỉ lệ này lớn hơn thì cường độ bị giảm xuống. Malik và cộng sự [7] đã thay thế một phần cát tự nhiên bằng kính thải có kích cỡ hạt (1.18-0mm) ở các mức 10%, 20%, 30%, 40% theo khối lượng. Kết quả là cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi của bê tông tăng lên 20%, 25%, 9.8% khi tỉ lệ thay thế lần lượt là 10%, 20%, 30% và ở mức 40% giảm 8.5%. Cũng với kích cỡ hạt kính vỡ (1.18-0mm), khi tỉ lệ thay thế cho cát tự nhiên 10%, 20%, 30% thì cường độ chịu nén của bê tông tăng lần lượt là 47.66%, 68.94% và 31.49% theo kết quả của Turgut và Yahlizade [8]. Mặt khác, bê tông sử dụng kính thải thay thế cho cát tự nhiên phát triển cường độ muộn hơn so với bê tông thông thường. Chen và cộng sự [4] đã thấy được sự gia tăng đáng kể cường độ chịu nén của bê tông khi thay thế cát bằng kính thải với các tỉ lệ 10%, 20%, 30%, 40% ở

tuổi muôn. Ở mức thay thế 40%, cường độ tăng thêm 17%, 27%, 43% so với mẫu đối chứng ở 28, 91 và 365 ngày.

Đối với vật liệu bê tông, ngoài đặc tính cường độ thì độ bền trong các môi trường làm việc cũng rất quan trọng, đặc biệt trong môi trường sulfate. Đối với bê tông sử dụng kính thải, độ bền của bê tông được Her-Yung Wang và Wen-Liang Huang [9] thể hiện đối với bê tông tự đầm, tác giả thay thế cát bằng thủy tinh thải với hàm lượng 10%, 20% và 30% và đánh giá độ bền trong Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Kết quả ở mức thay thế 30%, độ hao hụt khối lượng mẫu 2.25%, trong khi mẫu đối chứng hơn 3.5%. Ở một nghiên cứu khác của Vinod Tanwar và cộng sự [10] cũng thu được kết quả tương tự với dung dịch MgSO<sub>4</sub> khi thay thế cát bằng kính thải ở các mức 5%, 10%, 15%, 20%.

Trong nghiên cứu này, kính thải được thu thập từ các công trình xây dựng khi tháo dỡ, sau đó được vệ sinh, xử lý để đạt kích cỡ hạt phù hợp cho bê tông và thay thế cho cốt liệu mịn tự nhiên để chế tạo các mẫu thử nghiệm ở các tỉ lệ 0% (mẫu đối chứng), 10%, 20% và 30%. Lượng nước sử dụng ở 3 mức khác nhau với tỉ lệ W/B (nước và xi măng) lần lượt bằng 0.5, 0.6 và 0.7. Các hỗn hợp bê tông ướ được đánh giá tính công tác thông qua độ sụt của bê tông tươi, đánh giá cường độ chịu nén khi đông cứng với mẫu lăng trụ 100x200mm (đường kính x chiều cao) ở 3, 7, 14 và 28 ngày tuổi và modun đàn hồi khi nén tĩnh của các hỗn hợp ở 28 ngày. Độ bền của bê tông được xác định khi ngâm các tổ hợp mẫu trong dung dịch Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> nồng độ 1M với 8 chu kỳ, mỗi chu kỳ 14 ngày để xác định khối lượng hao hụt của các mẫu trong môi trường Sulfate.

Quá trình chuẩn bị, chế tạo các hỗn hợp bê tông và các thí nghiệm được thực hiện ở phòng thí nghiệm công trình của Trường Đại học Tôn Đức Thắng. Kết quả nghiên cứu góp phần làm sáng tỏ ảnh hưởng của kính thải đến tính công tác, cường độ và tính bền của bê tông tái chế khi sử dụng loại cốt liệu này.

## 2. VẬT LIỆU VÀ CHƯƠNG TRÌNH THÍ NGHIỆM

### 2.1. Vật liệu

a. Xi măng (OPC) : là loại xi măng PC40 loại I có cường độ 46N/mm<sup>2</sup>, khối lượng riêng  $\gamma_{OPC} = 3.10 \text{ g/cm}^3$ .

b. Kính thải (WG) : được thu thập từ các bộ phận của công trình xây dựng, rửa sạch, sấy khô. Sau đó được nghiền nát, sàng phân loại để đạt kích cỡ hạt tương đương với cốt liệu mịn. Kính thải có khối lượng riêng  $\gamma_{WG} = 2.58 \text{ g/cm}^3$ , modun độ lớn  $M_{WG} = 2.67$



(a) Thu gom kính thải



(b) Nghiền kính

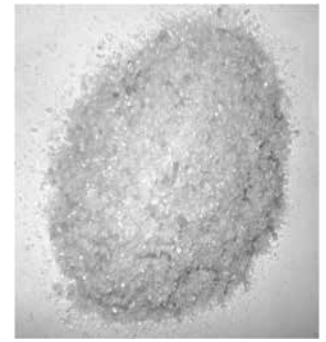
Hình 1- Quá trình thu gom và nghiền kính thải

Bảng 1. Thành phần oxit chính của OPC và WG (% khối lượng)

Thành phần	OPC	WG
SiO <sub>2</sub>	20.51	65.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.47	6.60
CaO	57.05	7.90
MgO	3.86	5.00
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	2.08	11.78



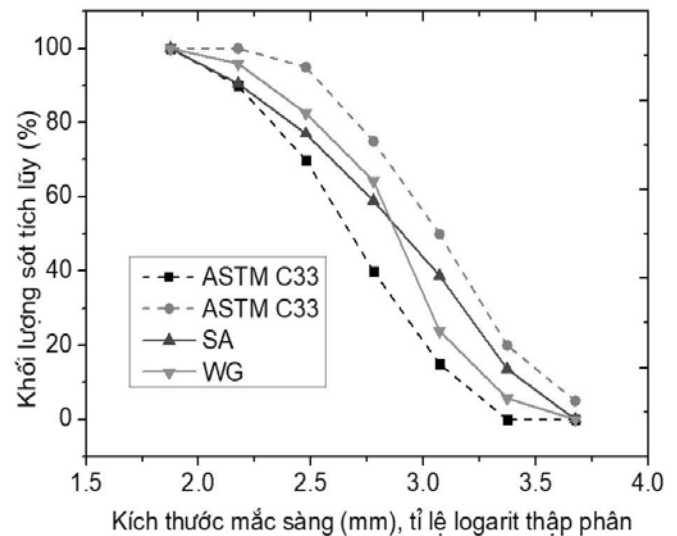
(a) Sàng kính



(b) Mẫu kính sau khi sàng

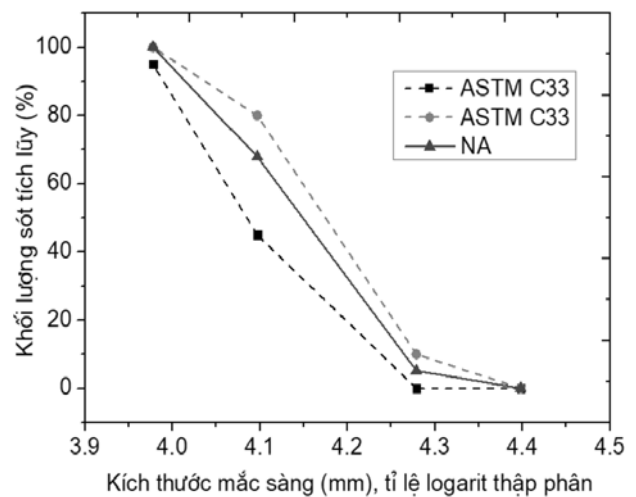
Hình 2- Quá trình sàng và phân loại kính thải

c. Cốt liệu mịn (SA) : là cát sông, mô đun độ lớn  $M_{SA} = 2.71$ , khối lượng riêng  $\gamma_{SA} = 2.65 \text{ g/cm}^3$



Hình 3a- Phân bố thành phần hạt của SA và WG

d. Cốt liệu lớn (NA) : đá tự nhiên 1x2cm, kích thước hạt lớn nhất  $D_{max} = 19\text{mm}$ .



Hình 3b- Phân bố thành phần hạt của NA

Kích cỡ hạt và phân bố thành phần hạt của WG, SA, NA đạt yêu cầu của ASTM C33/C33M-18 [11]

e. Nước (W) : nước sinh hoạt.

2.2. Thành phần hỗn hợp bê tông: hỗn hợp bê tông được thiết kế thành phần theo phương pháp ACI 211.1 [12] dựa trên cường độ chịu nén mong muốn ở 28 ngày tuổi bằng 25MPa, độ sụt 10cm tương ứng với tỉ lệ khối lượng nước và xi măng (W/B) bằng 0.5 để tính toán khối lượng vật liệu thành phần trong 1m<sup>3</sup> của mẫu bê tông đối chứng (A0). Sau đó, thay thế cốt liệu mịn bằng kính thải theo các tỉ lệ 10%, 20%, 30% về khối lượng để tạo ra các mẫu A1, A2, A3. Điều chỉnh tỉ số W/B = 0.6, W/B = 0.7 và thay thế cốt liệu mịn bằng kính thải theo các tỉ lệ trên để được các mẫu B0, B1, B2, B3 và C0, C1, C2, C3 tương ứng.

Bảng 2. Thành phần các hỗn hợp bê tông (kg/m<sup>3</sup>)

Kí hiệu	OP C	W/B	NA	SA	WG	WG/SA (%)
A0				885.0	0.0	0
A1				796.5	88.5	10
A2	350	0.5	775	708.0	177.0	20
A3				619.5	265.5	30
B0				885.0	0.0	0
B1				796.5	88.5	10
B2	350	0.6	775	708.0	177.0	20
B3				619.5	265.5	30
C0				885.0	0.0	0
C1				796.5	88.5	10
C2	350	0.7	775	708.0	177.0	20
C3				619.5	265.5	30



(a) Đúc mẫu bê tông

(b) Bảo dưỡng mẫu bê tông

Hình 4- Chế tạo và bảo dưỡng mẫu bê tông

2.3. Thí nghiệm tính linh động: hỗn hợp bê tông tươi được thiết kế với độ sụt dự kiến thông qua thí nghiệm côn hình nón có chiều cao 30cm, đường kính đáy 20cm, đường kính đỉnh 10cm, độ sụt phản ánh tính công tác của bê tông tươi và được xác định theo ASTM C143/C143M-12[13]

#### 2.4. Thí nghiệm cường độ chịu nén

Tương ứng với mỗi hỗn hợp bê tông chế tạo các mẫu thử lăng trụ đường kính 100mm chiều cao 200mm, thí nghiệm nén trực tiếp ở các ngày tuổi 3,7,14 và 28. Mỗi ngày tuổi nén 6 mẫu và lấy giá trị trung bình cộng. Quá trình thí nghiệm theo TCVN 3118:93[14] và cường độ chịu nén được xác định theo công thức :

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

Trong đó :

R : cường độ chịu nén (MPa)

P : Lực nén lúc mẫu bị phá hoại (N)

F : Diện tích chịu nén (mm<sup>2</sup>)

$\alpha$ : Hệ số tính đổi kích thước mẫu lăng trụ 100x200mm về mẫu lập phương 150x150x150mm. Ở đây lấy bằng  $\alpha=1.16$

#### 2.5. Thí nghiệm Modun đàn hồi khi nén tĩnh

Thí nghiệm xác định modun đàn hồi khi nén tĩnh ( $E_0$ ) được thực hiện trên máy nén đa năng UTest đối với 12 hỗn hợp bê tông ở 28 ngày tuổi, mỗi tổ gồm 3 mẫu lăng trụ 100x200mm và tính giá trị trung bình. Modun đàn hồi tĩnh được xác định theo phương pháp của TCVN 5726-1993 [15] như sau :

$$E_0 = \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}$$

Trong đó :

$\sigma_1$ : Ứng suất thử, lấy ở khoảng 1/3 cường độ mẫu theo thí nghiệm cường độ chịu nén.

$\sigma_0$ : Ứng suất ban đầu.

$\varepsilon_1 - \varepsilon_0$ : Chênh lệch biến dạng tương đối của bê tông ở mức ứng suất thử và ứng suất ban đầu.



(a) Thí nghiệm nén mẫu

(b) Ứng suất ở 1/3 cường độ và biến dạng tương ứng

Hình 5- Thí nghiệm cường độ chịu nén và đo biến dạng

#### 2.6. Thí nghiệm độ bền trong môi trường Sulfate

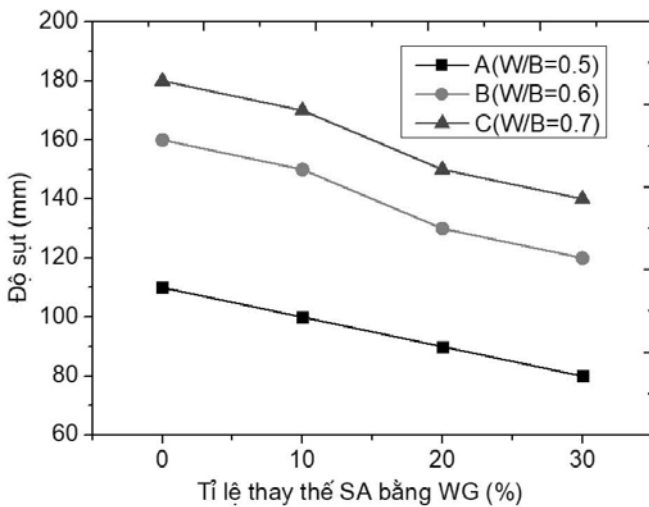
Sử dụng dung dịch Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> nồng độ 1M để ngâm 12 hỗn hợp bê tông với 8 chu kỳ, mỗi chu kỳ 14 ngày. Sau khi ngâm, các mẫu được vớt, để khô tự nhiên với nhiệt độ phòng, sấy ở 105<sup>o</sup>C đến khối lượng không đổi, cân để xác định khối lượng sau mỗi chu kỳ. Hao hụt khối lượng mẫu thông qua chênh lệch khối lượng sau mỗi chu kỳ để đánh giá tính bền của các hỗn hợp bê tông trong môi trường Sulfate.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Tính công tác của bê tông tươi khi sử dụng cốt liệu mịn tái chế từ kính thải

Tính linh động bê tông tươi theo kết quả thí nghiệm độ sụt của hỗn hợp bê tông được thể hiện ở hình 6

Từ kết quả trên nhận thấy bê tông sử dụng cốt liệu mịn tái chế từ kính thải có độ sụt giảm trung bình 12.42% ở các hỗn hợp và sự sụt giảm này tăng theo hàm lượng kính thải thay thế cho cát. Cụ thể, ở các hỗn hợp A (W/B = 0.5), độ sụt giảm 9.09%, 18.18%, 27.27% khi tỉ lệ thay thế là 10%, 20%, 30% và trung bình là 13.64%. Tương tự ở hỗn hợp B (W/B=0.6) là 6.25%, 18.75%, 25% và trung bình 12.50% còn ở hỗn hợp C (W/B=0.7) là 5.56%, 16.67%, 22.22% và trung bình là 11.11%.

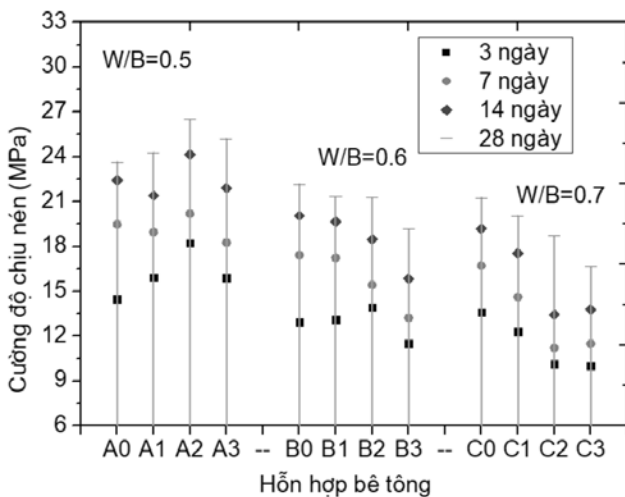


Hình 6- Độ sụt của các hỗn hợp bê tông

Sự sụt giảm tính linh động của bê tông khi sử dụng kính thái thay thế cho cát trong trường hợp này là do yếu tố hình dáng của hạt kính thái. Các hạt kính với hình dáng sắc nhọn, bề mặt gồ ghề, khắc nghiệt đã cản trở sự di chuyển của chính nó và các cốt liệu khác trong hỗn hợp bê tông làm cho tính linh động của nó giảm xuống [3, 4, 16]. Kết quả tính linh động của bê tông tương ứng với thành phần thay thế cho cát và kích cỡ hạt còn tương đối thô trong nghiên cứu này phù hợp với các công bố trước. Sự gia tăng tính linh động của bê tông chỉ được tìm thấy khi hàm lượng hạt mịn thủy tinh thái trong hỗn hợp lớn [5, 6] hoặc ảnh hưởng của kính thái đến tính linh động của bê tông không đáng kể khi cấp phối của thủy tinh nghiền nằm gần với cận dưới BS 882 : 1992 theo kết quả nghiên cứu của Batayneh và cộng sự [17].

**3.2. Ảnh hưởng của kính thái đến cường độ chịu nén của bê tông tái chế**

Cường độ chịu nén của các hỗn hợp bê tông qua các ngày tuổi được thể hiện ở hình 7.



Hình 7- Cường độ chịu nén của các hỗn hợp bê tông

Từ kết quả thể hiện ở hình 7 nhận thấy : cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế bằng kính thái ở 28 ngày tuổi khi tỉ lệ W/B = 0.5 đều cao hơn mẫu đối chứng. Cụ thể cường độ tăng lên 2.61%, 11.96%, 6.43% tương ứng với tỉ lệ thay thế kính thái cho cát 10%, 20% và 30%. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu ở [7] cũng như

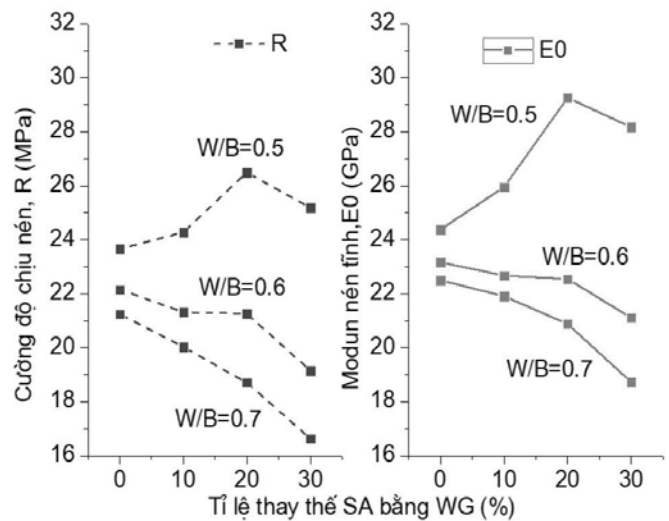
của Chen và cộng sự [4] khi các hạt thủy tinh thái ngoài nhiệm vụ thay thế cốt liệu mịn trong thành phần bê tông thì hình dạng trụ của nó có chức năng chống nứt bên trong hỗn hợp từ đó cải thiện được yếu tố cường độ. Mặt khác, trong thành phần kính thái ngoài SiO<sub>2</sub> còn có Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO tham gia vào các phản ứng hydrat hóa và pozzolanic bổ sung chất kết dính cho bê tông. Từ các yếu tố trên nhận thấy cường độ bê tông sử dụng kính thái thay thế cát khi lượng nước sử dụng hợp lý được cải thiện đáng kể.

Tuy nhiên, khi tăng tỉ lệ W/B, cường độ của tất cả các tổ hợp đều giảm so với tỉ lệ W/B = 0.5. Ở 28 ngày tuổi tương ứng với W/B = 0.6, cường độ giảm xuống 6.34% cho mẫu đối chứng và 12.18%, 19.74%, 23.95% cho các mẫu khi tỉ lệ thay thế cát bằng kính thái 10%, 20%, 30%. Khi W/B = 0.7, tỉ lệ này lần lượt là 10.19%, 17.49%, 29.37%, 33.96%. W/B tăng lên hỗn hợp bê tông chứa lượng nước dư, làm tăng tính rỗng trong cấu trúc dẫn đến cường độ của bê tông giảm xuống. Đối với các hỗn hợp có sử dụng cốt liệu tái chế từ kính thái, do hàm lượng hạt mịn lớn của kính thái và bề mặt gồ ghề của nó đã hấp thụ lượng nước lớn dẫn đến độ rỗng dư tăng lên theo tỉ lệ thay thế làm cho cường độ của nó suy giảm đáng kể hơn. Sự suy giảm cường độ của bê tông theo hàm lượng nước và thành phần hạt mịn ở nghiên cứu này phù hợp với kết quả nghiên cứu của Yalley P.P và Sam.A [18]

Mặt khác, cường độ chịu nén của bê tông cốt liệu tái chế từ kính thái đạt được muộn hơn so với bê tông thông thường. Ở 28 ngày tuổi, cường độ bê tông đạt được 79.89%, 77.30%, 69.57% và 70.21% tương ứng với mẫu đối chứng và các mẫu có tỉ lệ thay thế 10%, 20% và 30%. Ở 14 ngày, các tỉ lệ này lần lượt là 91.87%, 89.29%, 83.27% và 84.17%. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu Malik và cộng sự [7] khi các phản ứng pozzolanic xảy ra với xi măng trước so với thành phần aluminosilicat có trong kính thái, dẫn đến cường độ của các hỗn hợp bê tông có kính thái đạt được ở độ tuổi muộn hơn.

**3.3. Modun đàn hồi nén tĩnh của bê tông tái chế**

Quan hệ giữa modun đàn hồi nén tĩnh và cường độ chịu nén của các tổ hợp ở 28 ngày tuổi được thể hiện ở hình 8.



Hình 8- Quan hệ E<sub>0</sub> và R

(R: ứng suất lúc mẫu bị phá hoại nén, MPa)

Từ kết quả ở hình 8. nhận thấy modun đàn hồi nén tĩnh của các hỗn hợp bê tông thay đổi theo tỉ lệ thay thế kính thái cho cốt liệu mịn và hàm lượng nước. Sự thay đổi này tương ứng với sự thay đổi cường độ chịu nén được trình bày ở mục 3.2. Modun đàn hồi nén tĩnh của các mẫu bê tông tái chế lớn hơn mẫu đối chứng khi tỉ lệ W/B = 0.5 và đạt giá trị cao nhất tương ứng với tỉ lệ thay thế cát bằng

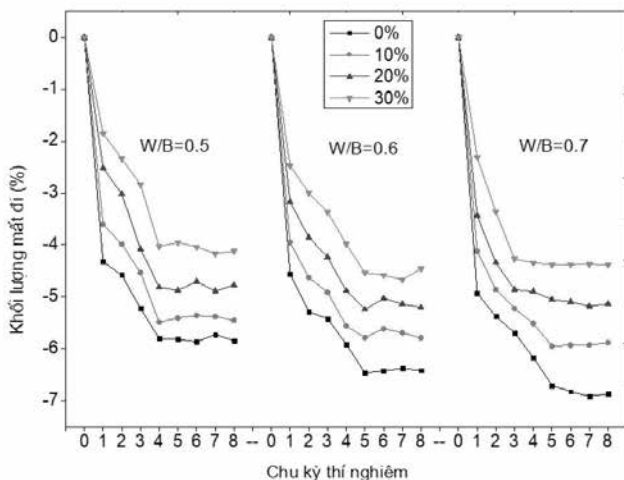
kính thải 20%. Khi tăng W/B, modun nén tĩnh của các hỗn hợp bê tông tái chế giảm mạnh.

Ngoài ra, từ kết quả được thể hiện ở hình 8. nhận thấy quan hệ modun nén tĩnh ( $E_0$ ) và cường độ chịu nén (R) của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế từ kính thải tương tự như bê tông thông thường. Trong giai đoạn đàn hồi của quá trình nén tĩnh, ứng suất và biến dạng của các hỗn hợp bê tông tương tự nhau, chưa tìm thấy sự khác biệt đáng kể trong mối quan hệ giữa R và  $E_0$  của các hỗn hợp bê tông tái chế và bê tông đối chứng trong nghiên cứu này.

### 3.4. Độ bền của bê tông tái chế trong môi trường Sulfate

Hình 9. thể hiện khối lượng mất đi của các tổ hợp bê tông trong môi trường Sulfate sau 8 chu kỳ thí nghiệm. Có thể thấy bê tông sử dụng cát thải thay thế cho cốt liệu mịn cải thiện đáng kể độ bền trong  $SO_4^{2-}$  và độ hao hụt khối lượng càng giảm khi tỉ lệ thay thế cốt liệu mịn bằng cát thải tăng lên. Ở chu kỳ cuối, khi độ hao hụt trung bình về khối lượng của các mẫu tiêu chuẩn đến 6.37% thì các mẫu bê tông tái chế lần lượt là 5.70%, 5.03%, 4.32% tương ứng với các tỉ lệ cát thải thay cho cốt liệu mịn 10%, 20%, 30%.

Sự hao hụt khối lượng của bê tông trong sulfate diễn ra nhanh ở chu kỳ đầu tiên và tăng lên đến chu kỳ thứ 5. Sau chu kỳ 5, sự mất mát khối lượng diễn ra chậm và thay đổi không đáng kể. Mặt khác, khi tỉ lệ W/B tăng lên, hao hụt khối lượng của các hỗn hợp bê tông cũng tăng theo tương ứng. Khi W/B = 0.5, hao hụt khối lượng trung bình của các hỗn hợp sau 8 chu kỳ là 4.48%, khi W/B = 0.6 là 4.89% và ở mức W/B = 0.7 là 5.01%. Khi lượng nước trong hỗn hợp bê tông lớn, đi kèm với đó là sự gia tăng độ rỗng trong cấu trúc bê tông là điều kiện thuận lợi cho quá trình thâm nhập các ion làm mất khối lượng bê tông dẫn đến tính bền giảm xuống.



Hình 9- Khối lượng mất đi của các hỗn hợp bê tông trong môi trường sulfate

Hao hụt khối lượng bê tông và diễn biến quá trình bị ăn mòn của nó trong trường hợp này tương đối phù hợp với nghiên cứu của Her-Yung Wang và Wen-Liang Huang [9] khi kính thải có tính chất kháng acid và kiềm đã có tác động tích cực đến độ bền của bê tông trong khả năng chống lại sự tấn công trong môi trường sulfate.

## 4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả trên, có thể đưa ra một số nhận xét về tính chất của bê tông cốt liệu mịn tái chế từ kính thải tương ứng với nghiên cứu này như sau :

1. Tính công tác của bê tông cốt liệu mịn tái chế đánh giá theo độ sụt giảm theo hàm lượng thay thế cát bằng kính thải. Ở mức thay thế 30%, độ sụt của bê tông tái chế giảm đến 12.42%.

2. Bê tông cốt liệu tái chế từ kính thải phát triển cường độ muôn hơn bê tông thông thường. Tuy nhiên, cường độ nén, modun đàn

hồi nén tĩnh của bê tông cốt liệu tái chế có thể cao hơn bê tông thông thường khi tỉ lệ thay thế cốt liệu, lượng nước sử dụng phù hợp và đạt giá trị cao nhất tương ứng tỉ lệ thay thế cát bằng kính thải 20%, tỉ lệ nước và xi măng bằng 0.5. Mặt khác, chưa nhận ra sự khác biệt đáng kể trong quan hệ giữa cường độ nén với modun đàn hồi nén tĩnh của bê tông tái chế và bê tông đối chứng.

3. Độ bền của bê tông cốt liệu tái chế trong môi trường sulfate được cải thiện đáng kể so với bê tông thông thường và tăng theo tỉ lệ thay thế cát bằng kính thải. Ở mức thay thế 30%, độ hao hụt khối lượng trung bình của các hỗn hợp bê tông tái chế bằng 4.32% so với 6.37% của bê tông chỉ sử dụng cốt liệu tự nhiên.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia. Chuyên đề Quản lý chất thải rắn sinh hoạt 2020, Nhà Xuất bản Dân Trí.
- [2]. Fediuk, R., A. Pak, and D. Kuzmin, *Fine-Grained Concrete of Composite Binder*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. **262**: p. 012025.
- [3]. Taha, B. and G. Nounu, *Properties of concrete contains mixed colour waste recycled glass as sand and cement replacement*. Construction and Building Materials, 2008. **22**(5): p. 713-720.
- [4]. Chen, C.H., et al., *Waste E-glass particles used in cementitious mixtures*. Cement and Concrete Research, 2006. **36**: p. 449-456.
- [5]. Ali, E. and S. Al-Tersawy, *Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self compacting concrete*. Construction and Building Materials, 2012. **35**: p. 785-791.
- [6]. Sharifi, Y., M. Houshiar, and B. Aghebati, *Recycled glass replacement as fine aggregate in self-compacting concrete*. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 2013. **7**: p. 419-428.
- [7]. Malik, M.I., et al., *Study of Concrete Involving Use of Waste Glass as Partial Replacement of Fine Aggregates*. 2013.
- [8]. Paki, T. and E. Yahlizade, *Research into Concrete Blocks with Waste Glass*. International Journal of Civil and Environmental Engineering, 2009. **1**: p. 203-209.
- [9]. Wang, H.-Y. and W.-L. Huang, *Durability of self-consolidating concrete using waste LCD Glass*. Construction and Building Materials, 2010. **24**: p. 1008-1013.
- [10]. Tanwar, V., et al., *Experimental investigation of mechanical properties and resistance to acid and sulphate attack of GGBS based concrete mixes with beverage glass waste as fine aggregate*. Journal of Building Engineering, 2021. **41**: p. 102372.
- [11]. ASTM-C33/C33M-18, *Standard Specification for Concrete Aggregates* 2018.
- [12]. ACI-211.1, *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. 1991.
- [13]. ASTM-C143/C143M-12, *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. 2012.
- [14]. TCVN-3118:93, *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén*. 1993.
- [15]. TCVN5726-1993, *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ lăng trụ và modun đàn hồi khi nén tĩnh*. 1993.
- [16]. Tan, K.H. and H. Du, *Use of waste glass as sand in mortar: Part I – Fresh, mechanical and durability properties*. Cement and Concrete Composites, 2013. **35**(1): p. 109-117.
- [17]. Batayneh, M.K., I. Marie, and I. Asi, *Use of selected waste materials in concrete mixes*. Waste management (New York, N.Y.), 2007. **27**: p. 1870-6.
- [18]. Yalley, P., *Effect of Sand Fines and Water/Cement Ratio on Concrete Properties*. Civil Engineering Research Journal, 2018. **4**.