

## Nghiên cứu chế tạo gạch nhựa vỉa hè từ phế thải nhựa

Nguyễn Hữu Phương<sup>1</sup>, Bùi Lê Anh Tuấn<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Thanh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Công ty Cổ phần Tư vấn Thiết kế và Xây dựng Số 1

<sup>2</sup> Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Cần Thơ

### TỪ KHOÁ

Rác thải nhựa  
Gạch vỉa hè  
Tái chế  
Xây dựng bền vững  
Tác động môi trường

### TÓM TẮT

Nghiên cứu chế tạo gạch lát vỉa hè từ nhựa phế thải với bốn loại gạch nhựa được sản xuất từ hai loại nhựa phế thải là polypropylene (PP) và High-density polyethylene (HDPE) đã được chế tạo và thử nghiệm. Kết quả cho thấy gạch nhựa được sản xuất có bề mặt phẳng và không có khuyết tật, khối lượng thể tích của gạch sử dụng nhựa PP cao hơn 4,0-10,6 % so với gạch sử dụng nhựa HDPE, độ bền uốn của gạch đạt khoảng 2,16-2,80 MPa và các trường hợp gạch nhựa sử dụng sợi thủy tinh có độ bền uốn cao hơn 5,2-11,5 % so với trường hợp không sử dụng sợi thủy tinh ở cùng loại nhựa sản xuất, hệ số giãn nở dài có chiều hướng phát triển ngược lại so với độ bền uốn của gạch, phân tích SEM của gạch nhựa cho thấy bề mặt của gạch trơn nhẵn, không xuất hiện vết nứt và lỗ rỗng.

### KEYWORDS

Plastic waste  
Pavement bricks  
Recycling  
Sustainable construction  
Environmental impact

### ABSTRACT

Research on manufacturing sidewalk tiles from waste plastic with four types of plastic tiles were manufactured from two types of waste plastic: polypropylene (PP) and High-density polyethylene (HDPE), and they were fabricated and tested. The results indicated that the plastic tiles produced have a flat surface with no significant defects. The volume mass of tiles using PP plastic is higher by 4,0-10,6 % compared to tiles using HDPE plastic. The flexural strength of the tiles ranges from approximately 2,16-2,80 MPa. In cases where plastic tiles use fiberglass, the flexural strength is higher by 5,2-11,5 % compared to cases without fiberglass in the same type of plastic production. The elongation at break coefficient develops in the opposite direction to the flexural strength of the tiles. SEM analysis of the plastic tiles showed a smooth surface with no visible cracks or voids.

### 1. Giới thiệu

Nhựa được sử dụng ngày càng nhiều trong đời sống kinh tế, xã hội và môi trường với giá rẻ và tiện ích cao nên loại vật liệu này được sản xuất với khối lượng rất lớn. Do đó, rác thải nhựa đã và đang gây ra nhiều ảnh hưởng đến toàn bộ sự sống trên hành tinh, đặc biệt là ở đô thị bởi tính chất khó phân hủy của chúng. Rác thải nhựa đang là vấn đề mang tính thời sự, đòi hỏi các cơ quan chức năng có thẩm quyền phải đưa ra những quyết định thay đổi một cách có hệ thống bằng việc xây dựng chính sách phù hợp, đầu tư vào nghiên cứu khoa học trong việc xử lý loại rác thải này và khuyến cáo người dân sử dụng các loại vật liệu thay thế có khả năng phân hủy sinh học. Các biện pháp tận dụng, tái chế rác nhựa không chỉ mang lại giá trị kinh tế mà còn có ý nghĩa về phát triển bền vững, mục tiêu mà mọi quốc gia đều hướng đến. Theo Bộ Tài nguyên và Môi trường cho biết tại Việt Nam, nguồn phế liệu nhựa thải ra tới gần 18.000 tấn/ngày, giá phế liệu rất thấp. Do đó, hạt nhựa tái chế từ chất thải nhựa sinh hoạt có giá thấp hơn nhiều so với hạt nhựa nguyên sinh. Kim ngạch xuất khẩu sản phẩm nhựa theo thống kê tăng trung bình 20 %/năm [1]. Điều này cho thấy tiềm năng phát triển ngành nhựa tái chế là rất lớn, đồng thời kinh doanh tái chế chất thải nhựa cũng mang lại nhiều lợi ích như tiết kiệm năng lượng

cho sản xuất nhựa nguyên sinh, giúp tiết kiệm những tài nguyên không thể tái tạo được, giải quyết hàng loạt các vấn đề môi trường như mất mỹ quan đô thị, suy thoái đất, nước... [2].

Một số nghiên cứu về chất thải rắn ở những khu vực đô thị ở ĐBSCL cho thấy thành phần nhựa chiếm từ 3,16 - 13,63 % tổng lượng chất thải rắn [3]; hoặc chiếm đến 77 % lượng chất thải có thể tái chế ở các thành phố lớn [4]. Để xây dựng một xã hội sử dụng tiết kiệm nguồn tài nguyên nhựa và thân thiện với môi trường, cần thực hiện những biện pháp hiệu quả trong việc quản lý và xử lý lượng rác thải nhựa thải ra môi trường. Tại Việt Nam đã có nhiều công trình nghiên cứu tái chế và xử lý lượng nhựa phế thải như chế tạo vật liệu bao che từ rác thải nhựa [5]; xử lý rác thải nhựa thành nhiên liệu sản xuất [6]; xử lý rác thải nhựa bằng công nghệ seraphin [7]. Các biện pháp xử lý và tái chế này đã đem lại kết quả khả quan về mặt kinh tế và môi trường, nhưng vẫn chưa xử lý hoàn toàn lượng nhựa đã thải ra môi trường.

Bên cạnh đó, gạch là một vật liệu xây dựng quan trọng được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới. Nó là một trong những loại vật liệu xây dựng có nhu cầu cao nhất. Ấn Độ, cùng với Trung Quốc và Tây Ban Nha, là quốc gia sản xuất gạch hàng đầu, với mức sản xuất hàng năm vượt quá 240 tỷ viên gạch [8]. Ấn Độ sản xuất khoảng 3,5 triệu tấn nhựa phế thải mỗi năm, con số này gần gấp đôi trong vòng năm năm qua. Nhựa phế

\*Liên hệ tác giả: thanhnguyen1997ct@gmail.com

Nhận ngày 16/12/2023, sửa xong ngày 30/01/2024, chấp nhận đăng ngày 05/02/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2024.614>

thải thường được sử dụng rộng rãi trong việc sản xuất gạch. Sử dụng nhựa phế thải dạng nhiệt dẻo trong việc sản xuất gạch là lựa chọn hiệu quả để giảm lượng rác thải nhựa, tiết kiệm nguyên liệu và cải thiện các tính chất của gạch. Nhựa phế thải được ưa chuộng hơn so với các nguyên liệu khác nhờ vào khả năng nhẹ, giá thấp, mật độ thấp, tính ổn định và độ bền, khả năng tái chế, cũng như khả năng cải thiện các tính chất của gạch, bao gồm độ bền va đập, cơ học và khả năng chịu nhiệt [9-11]. Một nghiên cứu thử nghiệm về ba loại viên gạch làm từ polycarbonate, polystyrene, và các loại nhựa nhiệt dẻo kết hợp, cát với tro bay và xi măng. Nhựa có thể chiếm từ 0 đến 10 % trọng lượng và cát chiếm từ 60 đến 70 % trọng lượng của gạch. Kết quả kiểm tra cho thấy gạch chứa 10 % nhựa phế thải có độ bền nén là 17 MPa và khả năng chống nhiệt cao. Mặc dù những viên gạch này nhẹ, khối lượng thể tích thấp [12]. Việc sản xuất gạch từ đất và nhựa phế thải ở các tỷ lệ và kích thước hạt khác nhau (nhỏ hơn 6,3 mm và lớn hơn 9,6 mm) cũng đã được nghiên cứu. Kết quả cho thấy rằng gạch kết hợp với nhựa phế thải (1 % theo trọng lượng và kích thước hạt < 6,3 mm) đã làm tăng các đặc tính của gạch lên 50 % và độ bền nén lên tăng hơn 244,4 % so với viên gạch không có nhựa (0,45 MPa) [13]. Nhựa High-Density Polyethylene và PP cũng thường được sử dụng gạch trong xây dựng. Gạch nhựa PP kết hợp với cát và hạt thủy tinh tái chế đạt độ bền nén cao gấp 2,5 và 3 lần và nhiệt độ cần thiết để sản xuất những viên gạch này thấp khoảng 5 lần so với viên gạch nung truyền thống. Các viên gạch với tỷ lệ PP cao hơn (5 %), đã đạt được nhiều kết quả hiệu quả khi so sánh với viên gạch nung truyền thống, nhưng khi vượt quá tỷ lệ 5 % PP trong viên gạch nung truyền thống, đã quan sát thấy sự sụt giảm độ bền nén [14].

Vì vậy, có thể nhận định được việc sản xuất gạch từ nhựa phế thải là rất tiềm năng. Đặc biệt là sử dụng nhựa phế thải sẽ làm giảm lượng chất thải nhựa cần xử lý, giảm áp lực đối với vật liệu nhựa nguyên sinh,



Hình 1. Các loại nhựa sử dụng trong nghiên cứu: (a) Nhựa PP và (b) Nhựa HDPE.

## 2.2. Các loại nhựa được sản xuất

Các trường hợp gạch nhựa sản xuất thì sợi thủy tinh thông thường được thêm vào theo khối lượng thể tích trong hỗn hợp nhựa với hai tỷ lệ sợi thủy tinh lần lượt là 0 % và 1 % [15-17] nhằm mục

**Bảng 2.** Thành phần vật liệu sản xuất gạch.

giảm sự tiêu thụ năng lượng và nước cũng như giảm phát thải các loại khí và hóa chất độc hại trong quá trình sản xuất vật liệu nguyên sinh.

## 2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

### 2.1. Vật liệu sử dụng

Nguyên liệu sản xuất gạch được cung cấp từ các nhà máy, đại lý tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. Tính chất cơ lý của nhựa được thể hiện ở Bảng 1. Nhựa PP có khối lượng thể tích là 1080 kg/m<sup>3</sup>, khối lượng thể tích xốp và lèn chặt lần lượt là 370 kg/m<sup>3</sup> và 456 kg/m<sup>3</sup>, độ hút nước là 0,49 %. Đối với nhựa HDPE có khối lượng riêng 930 kg/m<sup>3</sup>, độ hút nước là 0,35 % khối lượng thể tích xốp và lèn chặt cao hơn so với nhựa PP lần lượt là 534 kg/m<sup>3</sup> và 578 kg/m<sup>3</sup>.

**Bảng 1.** Tính chất của vật liệu sử dụng.

Vật liệu	Nhựa PP	Nhựa HDPE	Ghi chú
Khối lượng riêng (kg/m <sup>3</sup> )	1080	930	
Khối lượng thể tích xốp (kg/m <sup>3</sup> )	370	534	
Khối lượng thể tích lèn chặt (kg/m <sup>3</sup> )	456	578	
Độ hút nước (%)	0,49	0,35	
Nhiệt độ nóng chảy (°C)	170	180	

Nhiệt Độ Chảy của Nhựa PP và nhựa HDPE được phân tích DSC với nhiệt độ chảy của nhựa PP là 170°C và nhiệt độ chảy của nhựa HDPE là 180°C.

Sợi thủy tinh sử dụng trong nghiên cứu là loại kháng kiềm có chiều dài sợi 10mm, đường kính sợi 0,02 mm; khối lượng riêng 2700 kg/m<sup>3</sup>, cường độ chịu kéo 3500 MPa, mô đun đàn hồi 72,5 GPa.

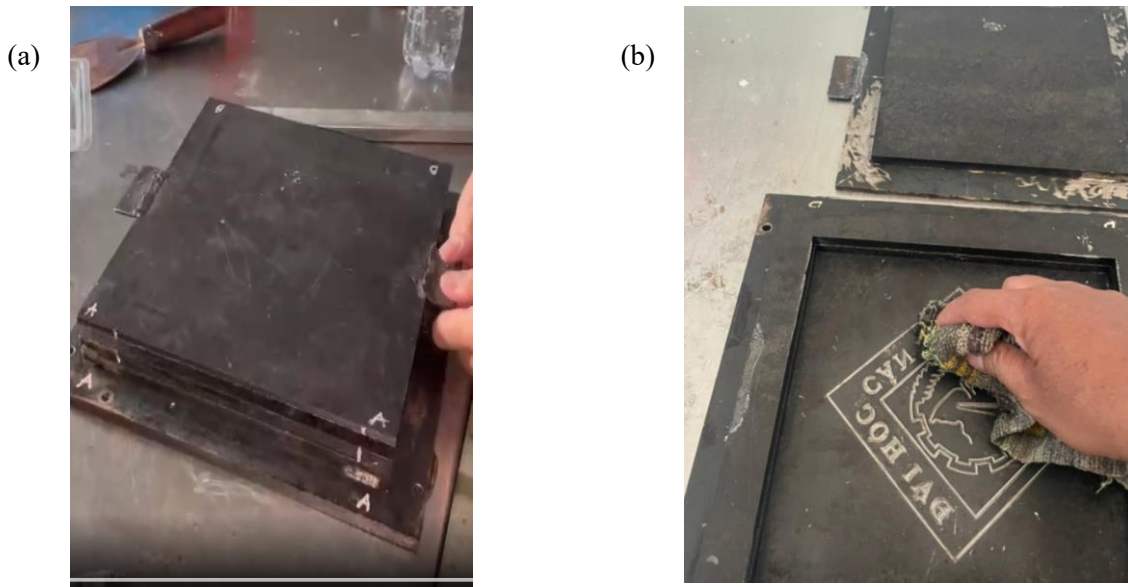
đích đánh giá khả năng làm việc của gạch nhựa được sản xuất. Dựa vào các kết quả tỷ lệ sợi thủy tinh của các nghiên cứu chọn 02 tỷ lệ lần lượt là 0 %, 1 % theo khối lượng thể tích của viên gạch để chế tạo gạch trong nghiên cứu. Thành phần gạch nhựa được sản xuất được thể hiện trong Bảng 2 như sau:

STT	Loại gạch	Loại nhựa sử dụng	Hàm lượng sợi thủy tinh sử dụng theo phần trăm khối lượng (%)
1	PPB	PP	0,0
2	PPBG	PP	1,0
3	HDPEB	HDPE	0,0
4	HDPEBG	HDPE	1,0

2.3. Phương pháp thử nghiệm

Quy trình sản xuất gạch nhựa: Đầu tiên, chuẩn bị khuôn và thoa sáp chống dính vào khuôn (Hình 2.), sau đó cho hỗn hợp vật liệu vào khuôn ép và tiến hành ép nhiệt bằng máy Panstone trong 15 phút với

nhệt độ 170-180°C tùy thuộc vào loại nhựa PP hay HDPE (Hình 3.) và sau khi hết thời gian ép tiến hành làm nguội và tháo khuôn gạch (Hình 4.). Gạch nhựa sau khi được sản xuất được để ở nhiệt độ phòng 24h và kiểm tra các tính chất như khối lượng thể tích [18], hệ số giãn nở nhiệt [19], SEM, độ bền uốn [20], kích thước và chất lượng bề mặt [21].



Hình 2. Chuẩn bị khuôn và sáp chống dính  
(a) Chuẩn bị khuôn và (b) Thoa sáp chống dính vào khuôn.



Hình 3. Đổ nhựa và ép nhựa  
(a) Trãi đều một lớp sợi thủy tinh và đổ nhựa vào khuôn và (b) Máy ép nhiệt đang vận hành.



**Hình 4.** Làm nguội và tháo nắp khuôn  
(a) Sau khi làm nguội khuôn và (b) Gạch sau khi tháo khuôn.

### 3. Kết quả và thảo luận

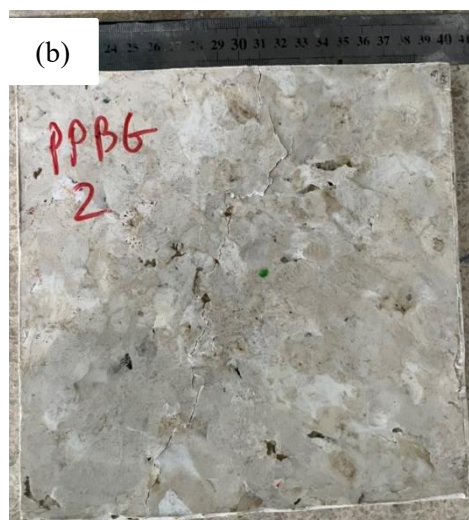
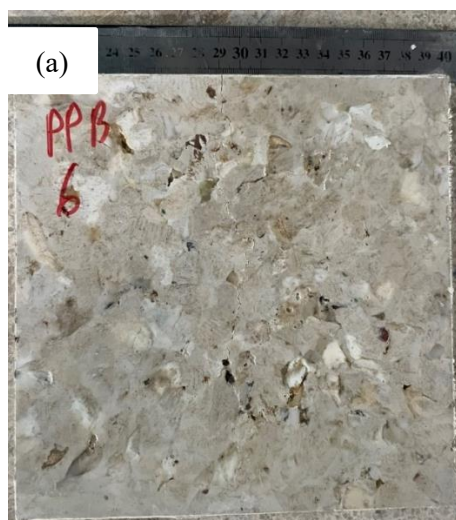
#### 3.1. Kích thước và chất lượng bề mặt của gạch

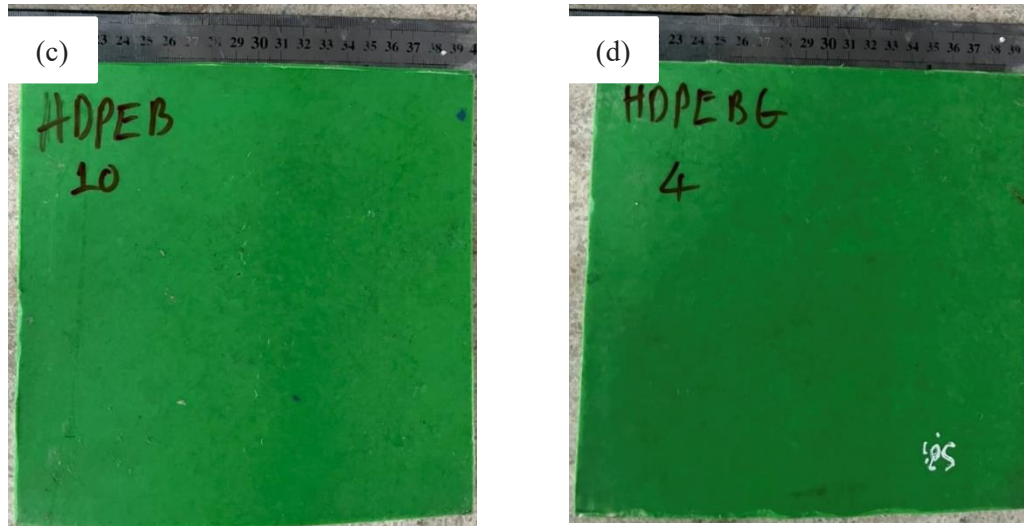
**Bảng 3.** Đánh giá bề mặt và kích thước các viên gạch.

STT	Loại gạch	Kích thước mẫu			Diện tích (mm <sup>2</sup> )	Đánh giá bề mặt mẫu
		Dài	Rộng	Cao		
1	PPG	194,4	194,6	9,74	37830	Phẳng
2	PPBG	194,38	194,9	9,77	37885	Phẳng
3	HDPEB	197,25	197,2	10,12	38898	Phẳng
4	HDPEBG	197,81	198,87	9,33	39338	Phẳng

Bảng 3. cho thấy gạch nhựa được sản xuất có diện tích từ 37.830 đến 39.338 mm<sup>2</sup> và bề mặt của từng viên gạch cho thấy rằng tất cả các viên gạch đều có bề mặt phẳng và đạt chất lượng tốt (Hình 5.). Điều

này là một điểm quan trọng trong đảm bảo tính thẩm mỹ, tính đồng nhất của sản phẩm cuối cùng và sẽ đóng góp vào tính bền vững của vỉa hè và các công trình xây dựng.





**Hình 5.** Các loại gạch nhựa được sản xuất:  
(a) Gạch PPB; (b) Gạch PPBG; (c) Gạch HDPEB và (d) HDPEBG.

3.2. Khối lượng thể tích của gạch

**Bảng 4.** Khối lượng thể tích và hệ số giãn nở nhiệt dài.

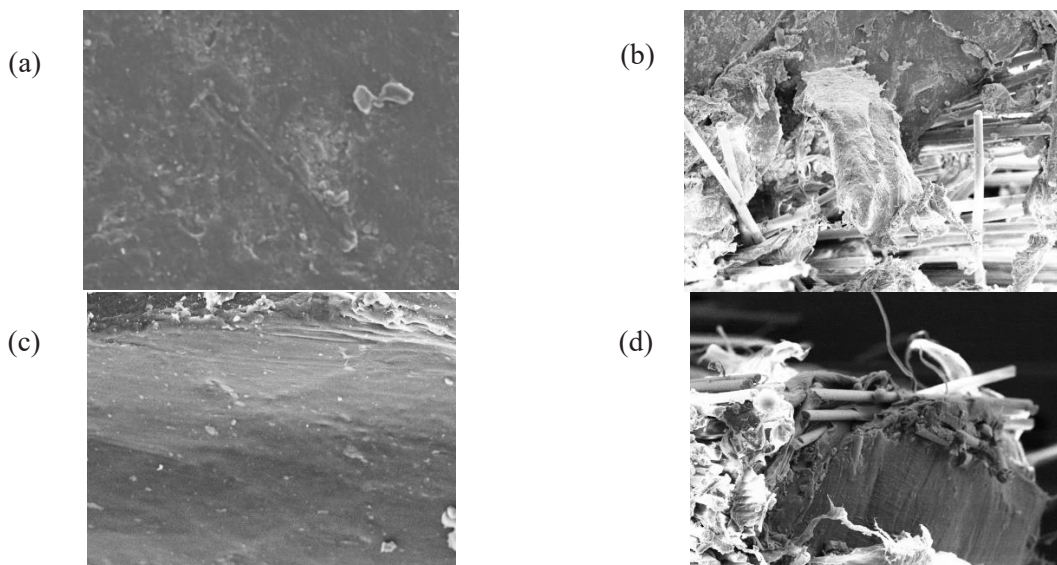
STT	Loại gạch	Khối lượng thể tích (g/cm <sup>3</sup> )	Hệ số giãn nở (1/độ C)
1	PPB	0,0078	0,00158
2	PPBG	0,0083	0,00121
3	HDPEB	0,0075	0,00105
4	HDPEBG	0,0077	0,00085

Kết quả Bảng 4 cho thấy khối lượng thể tích của gạch nằm trong khoảng từ 0,0075-0,0083 g/cm<sup>3</sup>. Đối với trường hợp gạch nhựa sử

dụng nhựa PP ở nhựa PPB và nhựa PPBG có khối lượng thể tích cao hơn 4,0-10,6 % so với gạch sử dụng nhựa HDPE. Ngoài ra, đối với các trường hợp nhựa có sử dụng thêm sợi thủy ở trường hợp nhựa PPBG và HDPEBG thì khối lượng thể tích của nhựa tăng từ 2,6-6,4 % so với nhựa không sử dụng sợi thủy tinh.

3.3. Vi cấu trúc của gạch (SEM)

Hình 5. thể hiện ảnh chụp SEM của các trường hợp gạch được sản xuất trong nghiên cứu. Ở hình SEM 5.a và hình SEM 5.c cho thấy được bề mặt của gạch trơn nhẵn, không xuất hiện vết nứt và lỗ rỗng (Hạnh và cộng sự, 2020). Hình SEM 5.b và SEM 5.d cho thấy các sợi thủy tinh được bao quanh bởi các phần tử nhựa liên kết thành cấu trúc đặc chắc.

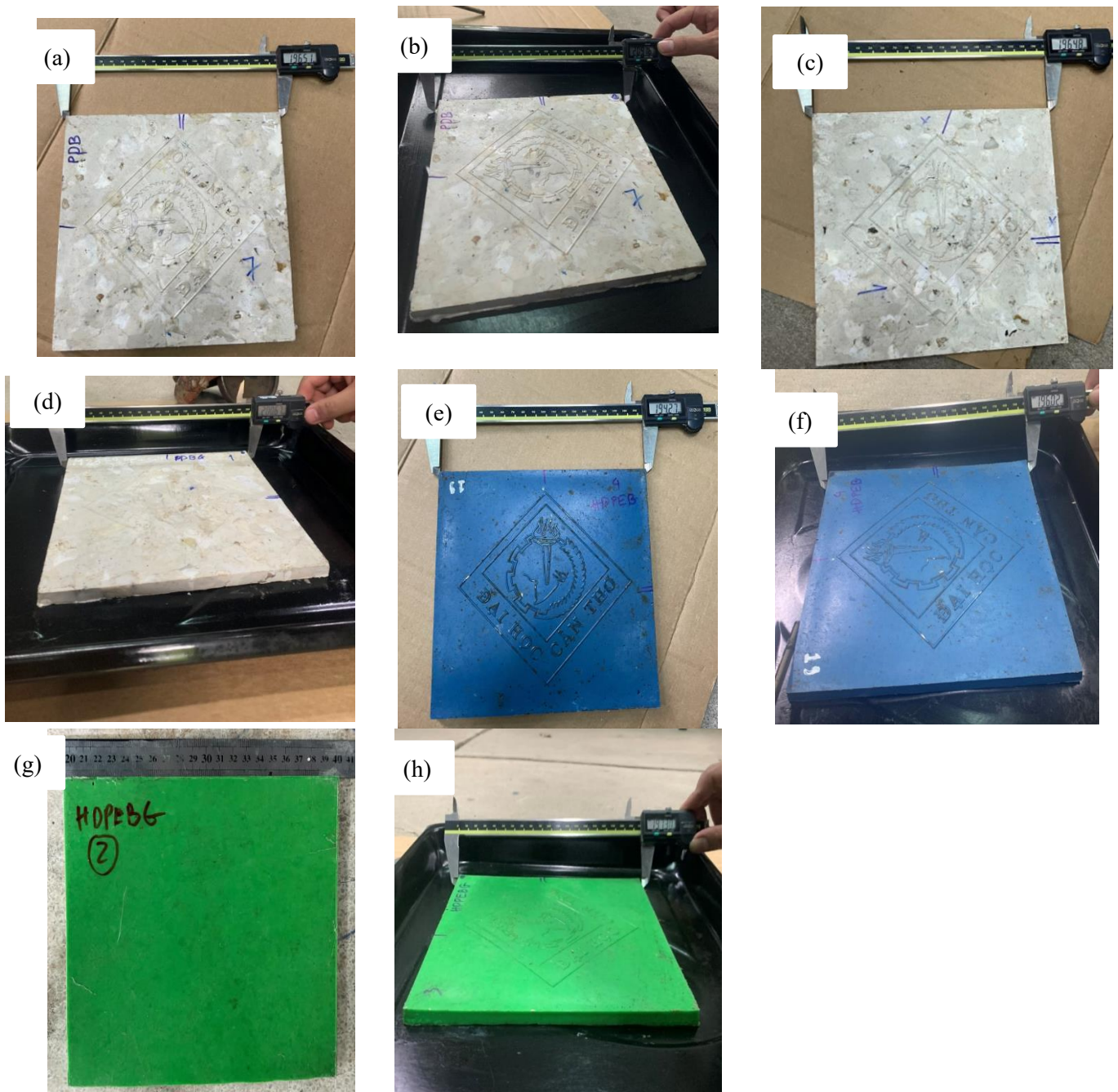


**Hình 5.** Ảnh chụp SEM của các loại gạch được sản xuất  
(a) Gạch PPB; (b) Gạch PPBG; (c) Gạch HDPEB và (d) Gạch HDPEBG.

### 3.4. Hệ số giãn nở nhiệt dài

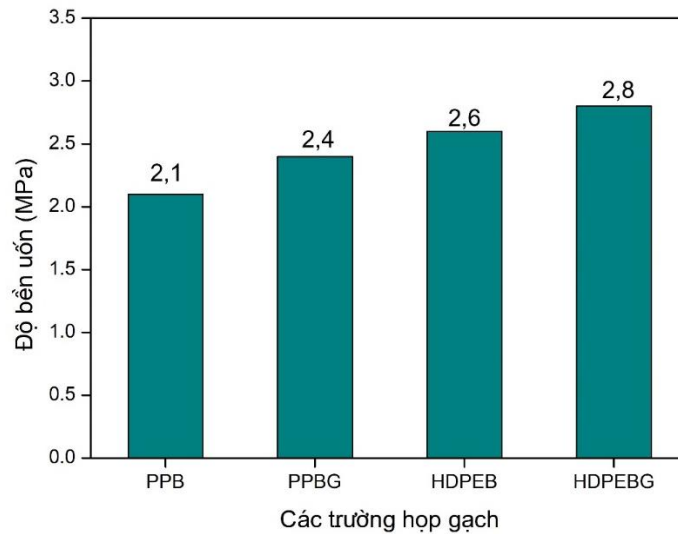
Bảng 4 cho thấy hệ số giãn nở dài của gạch nằm trong khoảng 0,00085-0,00158 (1/°C). Đối với các trường hợp gạch sử dụng nhựa HDPE có hệ số giãn nở nhiệt thấp hơn các trường hợp gạch sử dụng nhựa PP. Cụ thể là trường hợp gạch HDPEB và HDPEBG có hệ số giãn nở nhiệt lần lượt là 0,00085 (1/°C) và 0,00105 (1/°C). Các trường hợp gạch PPB và gạch PPBG có hệ số giãn nở nhiệt lần lượt là 0,00158

(1/°C) và 0,00121 (1/°C). Ngoài ra, khi thêm sợi thủy tinh vào trong các trường hợp gạch PPBG và gạch HDPEBG cho kết quả hệ số giãn nở giảm so với các trường hợp không sử dụng sợi thủy tinh khoảng 19,1-23,4 %, nguyên nhân được lý giải là do đặc tính của sợi thủy tinh chịu nhiệt cao và không bị giãn nở khi tiếp xúc với nhiệt vì thế khi thêm sợi thủy tinh vào trong gạch giúp tăng liên kết giữa các hạt nhựa lại với nhau và làm tăng khả năng chống giãn nở nhiệt của gạch [22]. Điều này cũng có thể quan sát được ở hình SEM 5.b và Hình SEM 5.d.



**Hình 6.** Mẫu gạch trước và sau khi chiều dài : Mẫu gạch PPB: (a) Trước khi đo, (b) Sau khi đo ; Mẫu gạch PPBG: (c) Trước khi đo, (d) Sau khi đo ; Mẫu gạch HDPEB: (e) Trước khi đo, (f) Sau khi đo ; Mẫu gạch HDPEBG: (g) Trước khi đo, (h) Sau khi đo.

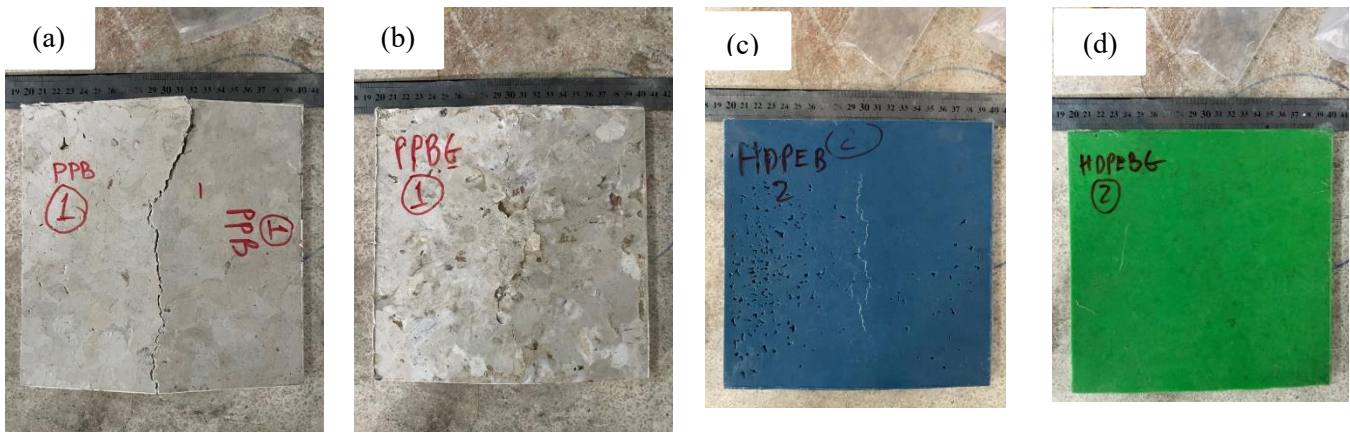
### 3.5. Độ bền uốn



Hình 7. Độ bền uốn của gạch.

Hình 7 cho thấy độ bền uốn của các trường hợp nhựa được sản xuất nằm trong khoảng 2,16-2,80MPa. Đối với các trường hợp gạch sử dụng nhựa PP cho thấy độ bền uốn của gạch nhỏ hơn các trường hợp gạch sử dụng nhựa HDPE từ 23,1-29,6 %. Các trường hợp gạch nhựa sử dụng sợi thủy tinh có độ bền uốn cao hơn 5,2-11,5 % so với

trường hợp cấp phối không sử dụng sợi thủy tinh ở cùng loại nhựa sản xuất, nguyên nhân là do sợi thủy tinh làm tăng độ đặc chắc của gạch nhựa, giảm lỗ rỗng và giúp liên kết các thành phần hạt nhựa trong cấu trúc của gạch [23] điều này cũng phù hợp với hình vi cấu trúc SEM của gạch nhựa.



Hình 7. Mẫu gạch sau khi uốn : (a) Mẫu PPB; (b) Mẫu PPBG; (c) Mẫu HDPEB; (d) Mẫu HDPEBG.

### 4. Kết luận

Nghiên cứu chế tạo gạch lát vỉa hè từ nhựa phế thải với ưu điểm sử dụng vật liệu nhựa phế thải giúp góp phần giảm thiểu tác động môi trường, hạn chế khai thác nguồn vật liệu tự nhiên đạt được một số kết quả như sau:

1. Gạch nhựa được sản xuất từ 02 loại nhựa phế thải là nhựa PP và nhựa HDPE kết hợp với sợi thủy tinh. Các hình dáng, màu sắc và kích thước bề mặt của từng loại gạch được sản xuất đều đạt chất lượng phẳng và không có khuyết tật ngoại quan đáng kể.

2. Gạch nhựa được sản xuất đạt được một số tính chất như có diện tích từ 37830-39338 mm<sup>2</sup> và bề mặt phẳng và đạt chất lượng tốt. Khối lượng thể tích của gạch sử dụng nhựa PP có khối lượng thể tích cao hơn 4,0-10,6 % so với gạch sử dụng nhựa HDPE,

3. Phân tích SEM của gạch cho thấy được bề mặt của gạch trơn nhẵn, không xuất hiện vết nứt và lỗ rỗng,

4. Độ bền uốn của gạch ở các trường hợp gạch nhựa sử dụng sợi thủy tinh có độ bền uốn cao hơn 5,2-11,5 % so với trường hợp cấp phối không sử dụng sợi thủy tinh ở cùng loại nhựa sản xuất, hệ số giãn nở dài của gạch nằm trong khoảng 0,00085-0,00158 (1/°C) và có chiều hướng giãn nở nhiệt giảm khi có sợi thủy tinh trong gạch nhựa.

**Tài liệu tham khảo**

- [1]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2022). Nguồn: <https://tainguyenvamoitruong.vn>
- [2]. Hoàng Nam (2020). *Tìm giải pháp thúc đẩy ngành công nghiệp tái chế nhựa tại Việt Nam*. Ntc: 20/9/2023. Tct: <https://www.vietnamplus.vn/tim-giai-phap-thuc-day-nganh-cong-nghiep-tai-che-nhua-tai-viet-nam/623127.vnp>
- [3]. Lê Hoàng Việt, Nguyễn Võ Châu Ngân, Nguyễn Xuân Hoàng, Nguyễn Phúc Thanh (2011). *Quản lý tổng hợp chất thải rắn - cách tiếp cận mới cho công tác bảo vệ môi trường*. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ (20a) 39–50.
- [4]. Nguyễn Võ Châu Ngân, Lê Hoàng Việt, Nguyễn Xuân Hoàng, Vũ Thành Trung (2014). *Tính toán phát thải mê-tan từ rác thải sinh hoạt khu vực nội ô thành phố Cần Thơ*. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ (31) 99–105
- [5]. Viện Vật liệu Xây dựng (2003). *Báo cáo tổng kết nhiệm vụ công nghệ thu gom, vận chuyển, xử lý rác thải nylon và chất thải hữu cơ*. Bộ Xây dựng.
- [6]. Trần Hương (2016). *Công nghệ biến rác thải thành năng lượng xanh*. Tham khảo từ trang web <http://tapchimoitruong.vn/pages/article.aspx?item=MBT-CD.08---Cong-nghie-bien-rac-thai-thanh-nang-luong-xanh-39280>, ngày 29/11/2023.
- [7]. Trần Thị Hương (2009). *Phương pháp lựa chọn công nghệ xử lý chất thải rắn thích hợp*. Báo cáo Hội thảo “Công nghệ xử lý chất thải đô thị và khu công nghiệp”. Hà Nội.
- [8]. Muheise-Aralia, D., Pavia, S., (2021). Properties of unfired, illitic-clay bricks for sustainable construction. *Constr. Build. Mater.* 268, 121118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121118>. ISSN 0950-0618
- [9]. Jahidul Islam, M.d., Shahjalal, M.d., 2021. Effect of polypropylene plastic on concrete properties as a partial replacement of stone and brick aggregate. *Case Studies Constr. Mater.* 15, e00627. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00627>. ISSN 2214-5095
- [10]. Banerjee, T., Srivastava, R.K., Hung, Y.T., 2014. Plastic Waste Management in India: An Integrated Solid Waste Management Approach. *World Scientific Publishing Co.*, Singapore.
- [11]. Ahmad, A.F., Razali, A.R., Razelan, I.S.M., 2017. Utilization of polyethylene terephthalate (PET) in asphalt pavement: a review. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 203, 012004 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/203/1/012004>
- [12]. Mondal, M.K., Bose, B.P., Bansal, P., 2019. Recycling waste thermoplastic for energy efficient construction materials: an experimental investigation. *J. Environ. Manage.* 240, 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.016>
- [13]. Akinwumi, I.I., Domo-Spiff, A.H., Salami, A., (2019). Marine plastic pollution and affordable housing challenge: Shredded waste plastic stabilized soil for producing compressed earth bricks. *Case Stud. Constr. Mater.* 11, e00241. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00241>. ISSN 2214-5095.
- [14]. Akinyele, J.O., Igba, U.T., Adigun, B.G., (2020). Effect of waste PET on the structural properties of burnt bricks. *Sci. Afr.* 7, e00301. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00301>. ISSN 2468-2276
- [15]. Nguyen Dinh Hai, Tran Anh Tuan (2019). Modelling to estimate effect of fiber content on Young modulus of GFRC. *Transport and Communications Science Journal*, (70):330-339
- [16]. Nguyễn Văn Ngón, Phạm Duy Anh (2020). *Nghiên cứu thực nghiệm xác định ứng xử chịu tải trọng tập trung của bản mặt cầu bằng bê tông cốt thanh polymer sợi thủy tinh*. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, (71):984-999.
- [17]. Nguyễn Hải Đường, Phạm Đình Huy Hoàng, Nguyễn Thanh Sang (2021). *Nghiên cứu thực nghiệm vật liệu composite gốc xi măng để sửa chữa mặt đường bê tông và sân bay*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, 8:43-47
- [18]. Tiêu chuẩn TCVN 6415-3:2016 (ISO 10545-3:1995) “*Gạch gốm ốp, lát - phương pháp thử - Phần 3: xác định độ hút nước, độ xốp biểu kiến, khối lượng riêng tương đối và khối lượng thể tích*”.
- [19]. Tiêu chuẩn TCVN 6415-8:2016 (ISO 10545-7:1996) “*Gạch gốm ốp, lát - phương pháp thử - Phần 7: Xác định hệ số giãn nở nhiệt dài*”.
- [20]. Tiêu chuẩn TCVN 6415-8:2016 (ISO 10545-7:1996) “*Gạch gốm ốp, lát - phương pháp thử - Phần 7: Xác định hệ số giãn nở nhiệt dài*”.
- [21]. Nguyễn Thị Thu Phương, Trần Thị Hồng Thương, Hoàng Thị Lý, Di Kim Tuyết (2018). *Chế tạo và phân tích gạch ceramic sử dụng nguyên liệu tro bã mía*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, số đặc biệt:84-87.
- [22]. Tiêu chuẩn TCVN 6415-2:2016 (ISO 10545-2:1995) “*Gạch gốm ốp, lát - phương pháp thử - Phần 2: xác định kích thước và chất lượng bề mặt*”.
- [23]. Nguyễn Tiến Thủy, Nguyễn Tuấn Anh. *Thí nghiệm xác định modun đàn hồi theo phương dọc và hệ số nở ngang của vật liệu polyme gia cường sợi thủy tinh (GFRP)*. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 2:147-159.