

# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VẬT LIỆU COMPOSITE TRÊN CƠ SỞ NHỰA TÁI CHẾ POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) VÀ BÃ CÀ PHÊ ĐÃ QUA SỬ DỤNG

RESEARCH ON THE SYNTHESIS OF COMPOSITE MATERIALS

BASED ON RECYCLED POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) PLASTIC AND USED COFFEE GROUND

Nguyễn Tuấn Anh<sup>1,\*</sup>, Thân Thị Như Quỳnh<sup>1</sup>, Lê Thị Thanh Tâm<sup>1</sup>,  
Giáp Thị Thắm<sup>1</sup>, Đặng Xuân Đăng<sup>1</sup>, Nguyễn Tiến Dũng<sup>1</sup>

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.393>

## TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung vào việc tận dụng hai loại chất thải chính của ngành công nghiệp thực phẩm: bã cà phê đã qua sử dụng (SCG) và chai PET sau khi sử dụng (PETbot), để tạo thành vật liệu polyme composite. Đầu tiên, SCG sau khi sử dụng đã được thu gom và xử lý bằng phương pháp hóa học, sử dụng dung dịch  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  với các nồng độ khác nhau (0,5M; 1,0M; 1,5M) tại các nhiệt độ khác nhau. Quá trình này nhằm mục đích làm sạch và làm mềm SCG để tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình tái chế. Tiếp theo, chúng tôi đã chế tạo vật liệu composite trên cơ sở nền nhựa PET gia cường bằng SCG, với tỷ lệ phần khối lượng PET/SCG = 70/30. Các mẫu composite sau đó được đánh giá tính chất cơ học, hình thái cấu trúc và ổn định nhiệt hóa học thông qua các phương pháp thí nghiệm thích hợp. Kết quả của nghiên cứu cho thấy bã cà phê sau khi sử dụng được xử lý bằng dung dịch  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ở nồng độ 1,0M cho kết quả tốt nhất. Kết quả độ bền cơ học tốt nhất của vật liệu composite nền PET gia cường bằng SCG khi xử lý bằng dung dịch  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ở nồng độ 1M với độ bền kéo: 82,86MPa; độ bền uốn: 160,29MPa; độ bền nén: 81,34MPa và độ bền va đập Izod: 75,92kJ/m<sup>2</sup>. Điều này góp phần khẳng định tiềm năng của vật liệu composite sinh học dựa trên PET và SCG trong ứng dụng thực tế.

**Từ khóa:** Polyme, composite, polyethylene terephthalate, bã cà phê đã qua sử dụng.

## ABSTRACT

In this study, we focused on utilizing two main types of food industry waste: spent coffee grounds (SCG) and post-consumer PET bottles (PETbot), to create polymer bio-composite materials. Firstly, the post-consumer SCG was collected and treated using a chemical method, employing  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  solution with different concentrations (0.5M, 1.0M, 1.5M) at various temperatures. This process aimed to clean and soften the SCG to facilitate the recycling process. Subsequently, we fabricated composite materials based on PET reinforced with SCG, with a mass ratio of PET/SCG = 70/30 (by weight). The composite samples were then evaluated for their mechanical properties, morphological structure, and thermal stability through appropriate experimental methods. The results of the study indicated that spent coffee grounds treated with  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  solution at a concentration of 1.0M yielded the best outcomes. The established results showed the best mechanical strength of the PET-based composite material reinforced with SCG when treated with  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  solution at a concentration of 1M, with tensile strength: 82.86MPa; flexural strength: 160.29MPa; compressive strength: 81.34MPa; and Izod impact strength: 75.92kJ/m<sup>2</sup>. This contributes to affirming the potential of composite materials based on PET and SCG in practical applications.

**Keywords:** Polymer, composite, polyethylene terephthalate, spent coffee grounds.

<sup>1</sup>Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: [anhnt@hauivn](mailto:anhnt@hauivn)

Ngày nhận bài: 05/5/2024

Ngày nhận bài sau phản biện: 15/6/2024

Ngày chấp nhận đăng: 28/11/2024

## 1. MỞ ĐẦU

Tổng quan về nghiên cứu chế tạo vật liệu composite từ bã cà phê đã qua sử dụng kết hợp với nhựa tái chế PET đang thu hút sự chú ý của cộng đồng nghiên cứu và các nhà sản xuất trong và ngoài ngành công nghiệp. Mặc dù nguồn cung cấp của bã cà phê trên toàn cầu không ngừng tăng lên, điều này cũng dẫn đến việc tăng sản lượng bã cà phê, một phụ phẩm phát sinh từ quy trình chế biến cà phê.

Việc xử lý và tái chế bã cà phê đã trở thành một vấn đề cấp bách, và việc sử dụng nó để sản xuất vật liệu composite là một trong những hướng tiếp cận tiềm năng. Nghiên cứu của Zhang, Zhou & Liu [1] và Soares, Souza & De Barros [2] đã đánh giá cao tiềm năng của bã cà phê như một nguồn nguyên liệu thay thế trong việc sản xuất vật liệu composite. Bã cà phê không chỉ có tính chất sinh học mà còn có khả năng tái chế, làm cho nó trở thành một nguồn nguyên liệu thú vị cho việc phát triển các sản phẩm thân thiện với môi trường. Sự kết hợp giữa bã cà phê và nhựa tái chế PET đã được nghiên cứu rộng rãi để tạo ra các vật liệu composite với tính chất cơ học và môi trường được cải thiện. Ciornei & Prundeanu [3] và Rosales-García, González-Laredo & Campos-Ramos [4] đã thảo luận về quá trình tái chế PET và tiềm năng của nó trong lĩnh vực sản xuất composite, đặc biệt là trong việc giảm thiểu lượng rác thải nhựa và hỗ trợ sự phát triển bền vững.

Nghiên cứu của Pervaiz & Sain [5] và Soares, Souza & De Barros [2] đã đem lại các sản phẩm composite mới với tính chất cơ học và môi trường tốt. Mặt khác, Tan, Tian & Zhang [6] đã nêu lên các tiềm năng khác của việc sử dụng bã cà phê, bao gồm việc sản xuất nhiên liệu sinh học và các sản phẩm có giá trị khác, mở ra nhiều cơ hội phát triển trong tương lai. Trong khi đó, việc kết hợp bã cà phê và nhựa tái chế PET không chỉ giúp giảm thiểu tác động môi trường từ việc xử lý rác thải mà còn tạo ra các sản phẩm có giá trị và mang lại lợi ích kinh tế [8, 9]. Như vậy, sự kết hợp này không chỉ là một lựa chọn hấp dẫn về mặt môi trường mà còn là một hướng tiếp cận thú vị trong việc phát triển vật liệu composite và thúc đẩy sự phát triển bền vững.

Tái chế nhựa PET kết hợp với bã cà phê đã trở thành một hướng nghiên cứu tiềm năng nhằm giải quyết vấn đề ô nhiễm nhựa và sử dụng hiệu quả phế phẩm từ ngành công nghiệp cà phê. SCG (spent coffee grounds) là một nguồn tài nguyên tái tạo với hàm lượng cellulose cao, có thể sử dụng để tạo ra các vật liệu composite sinh học có tính chất cơ học và nhiệt lý ưu việt [9]. Việc sử dụng SCG trong sản xuất nhựa sinh học không chỉ giúp giảm thiểu

lượng rác thải nhựa mà còn giảm phát thải khí nhà kính từ việc chôn lấp SCG [11, 12]. Các nghiên cứu đã chứng minh rằng SCG có thể tạo ra các film sinh học có khả năng chống UV, chống oxy hóa và có độ bền cơ học tốt [10]. Quy trình tái chế PET và SCG bao gồm các bước như nghiền, rửa và nấu chảy, kết hợp với xử lý bề mặt SCG để tăng cường sự kết dính với nhựa PET, tạo ra các composite có tính chất lý tưởng [13]. Tổng hợp lại, việc tái chế PET kết hợp với SCG là một giải pháp bền vững, đóng góp vào bảo vệ môi trường và mang lại lợi ích kinh tế lớn. Nghiên cứu về composite từ rác thải nhựa PET và bã cà phê là cần thiết và có tiềm năng lớn, nhưng vẫn cần giải quyết nhiều khoảng trống về tác động môi trường, quy trình sản xuất, khả năng ứng dụng thực tế, và ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Việc tiếp tục nghiên cứu và cải tiến trong những lĩnh vực này sẽ giúp hiện thực hóa tiềm năng của các vật liệu bền vững này và góp phần bảo vệ môi trường hiệu quả hơn.

## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Hóa chất và vật liệu

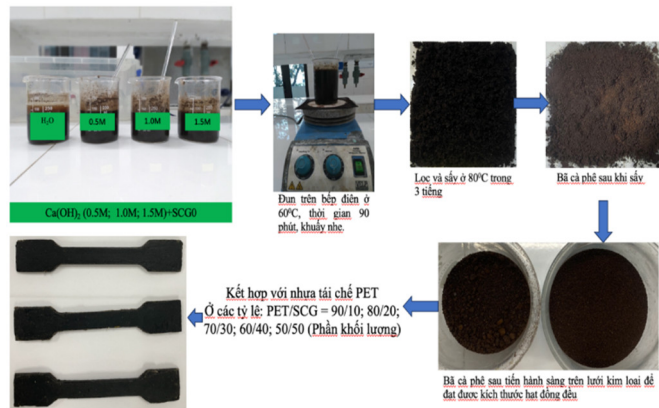
NaOH (Merck, Đức) với Khối lượng Mol: 40.00 g/mol, Khối lượng riêng: 2,13g/cm<sup>3</sup> (20°C), Độ hòa tan: 1090g/l, Độ tinh khiết: ≥ 99,0%. Ca(OH)<sub>2</sub> (Việt Nam) với hàm lượng: 98%, Nhiệt độ nóng chảy: 580°C, khối lượng phân tử: 74,093g/mol, mật độ: 2,21g/cm<sup>3</sup>. Bã cà phê đã qua sử dụng được thu gom từ các quán cà phê Trung Nguyên ở Quận Bắc Từ Liêm, TP. Hà Nội. Nhựa PET được thu gom từ các sản phẩm chai nước sau khi sử dụng, được vệ sinh, rửa sạch cắt nhỏ với kích thước trung bình 2mm đến 5mm.

### 2.2. Nghiên cứu xử lý bã cà phê đã qua sử dụng

Thu gom và tập trung bã cà phê đã qua sử dụng (SCG) từ các quán cà phê Trung Nguyên ở Quận Bắc Từ Liêm, TP Hà Nội. Chuẩn bị dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub> với các nồng độ khác nhau (0,5M; 1,0M; 1.5M). Ngâm bã cà phê đã qua sử dụng (SCG) với các dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub> theo tỷ lệ thể tích 50/50. Tiến hành gia nhiệt ở 60°C trong thời gian 90 phút. SCG sau đó được tiến hành lọc, và sấy ở 80°C trong thời gian 180 phút. SCG thu được sau khi sấy được sàng để thu được các hạt có kích thước đồng đều nhau. SCG được đem đi đo phổ hồng ngoại (IR) và hình thái cấu trúc (SEM) để đánh giá đặc tính. SCG sau khi xử lý hóa học được kết hợp với nhựa tái chế PET ở tỷ lệ kết hợp: PET/SCG = 70/30 (Phần khối lượng).

Hỗn hợp sấy ở 80°C trong vòng 4 giờ được tiến hành trên máy trộn kín Haake với các thông số sau: Nhiệt độ trộn 80°C; Tốc độ trộn 600 vòng/phút; Thời gian trộn 15 phút. Sau khi hỗn hợp đã trộn đồng đều, lấy khỏi máy trộn kín Haake và ép ở nhiệt độ 220°C - 250°C với lực ép

15MPa trong thời gian 5 phút. Sau khi ép xong mẫu được để ổn định ở nhiệt độ phòng 1 ngày rồi tiến hành đo đặc tính năng cơ lý, SEM (hình 1).



Hình 1. Quy trình xử lý bã cà phê đã qua sử dụng (SCG) bằng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ứng dụng làm chất gia cường cho vật liệu composite PE/SCG

### 2.3. Các phương pháp nghiên cứu

a) Phương pháp chụp kính hiển vi điện tử quét (SEM): nghiên cứu cấu trúc vật liệu trên máy hiển vi điện tử quét JSM-6490 (JEOL - Nhật Bản) tại Viện Khoa học vật liệu - Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam với điện thế tăng tốc là 10kV. Máy S-4800 FESEM, Hitachi, Nhật Bản tại Viện Vệ sinh Dịch tễ TW.

b) Phương pháp phân tích phổ hồng ngoại (IR): Phổ hấp thụ hồng ngoại còn được gọi là phổ dao động quay vì khi hấp thụ bức xạ hồng ngoại thì cả chuyển động dao động và chuyển động quay đều bị kích thích. Bức xạ hồng ngoại được chia thành ba vùng: vùng hồng ngoại xa ( $400 \div 50\text{cm}^{-1}$ ), vùng hồng ngoại trung bình ( $4000 \div 400\text{cm}^{-1}$ ), vùng hồng ngoại gần ( $12500 \div 4000\text{cm}^{-1}$ ). Phổ hồng ngoại IR được đo tại Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

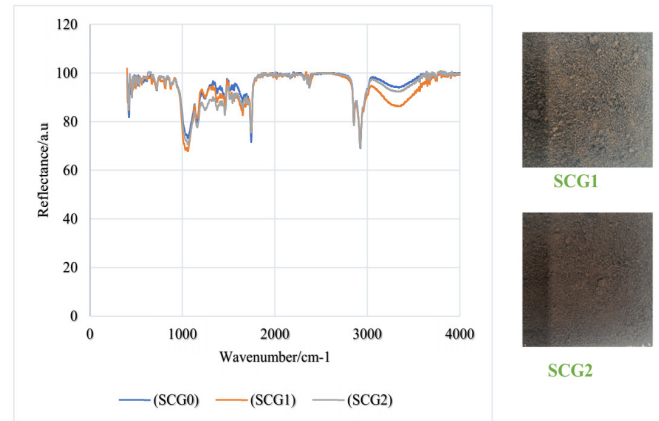
c) Tính chất nhiệt TGA: Phân tích khối lượng nhiệt (TGA) được thực hiện trên thiết bị DTG-60H, Shimadzu (Nhật Bản) sử dụng tốc độ  $10^\circ\text{C}/\text{phút}$ . Được thực hiện tại Khoa Hóa học, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội.

d) Tính chất cơ học: Các thí nghiệm cơ học đã được thực hiện trên ít nhất năm mẫu thử, sử dụng máy thử nghiệm đa năng 100kN (INSTRON-5582, Hoa Kỳ) để đánh giá các đặc tính cơ học của vật liệu. Đặc tính uốn của vật liệu được xác định bằng cách sử dụng mẫu thử uốn ba điểm có kích thước  $100 \times 15 \times 4\text{mm}$  theo tiêu chuẩn ISO 178. Đối với đặc tính nén, mẫu thử có kích thước  $15 \times 10 \times 10\text{mm}$  theo ASTM D695 đã được sử dụng. Độ bền va đập theo phương pháp Izod được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D256 Tinius Olsen (Mỹ). Cuối cùng, đặc tính kéo được xác định thông qua tiêu chuẩn ISO 527. Quá

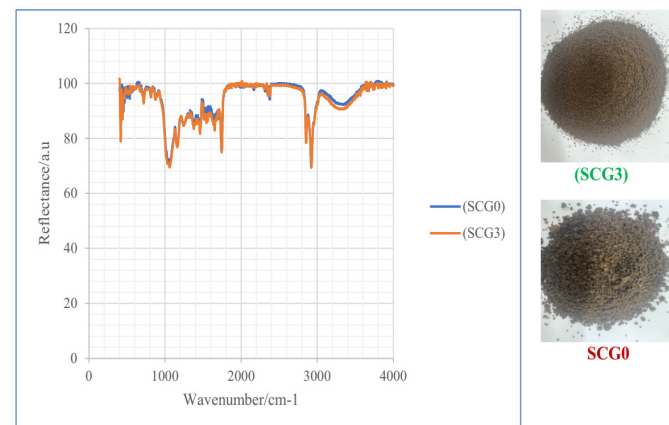
trình thử nghiệm này cung cấp cái nhìn toàn diện về tính chất cơ học của vật liệu trong nhiều điều kiện tải trọng khác nhau, từ độ bền uốn đến khả năng chịu va đập và độ dẻo dai trong quá trình kéo căng.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Đặc tính phổ hồng ngoại của bã cà phê trước và sau khi xử lý bằng $\text{Ca}(\text{OH})_2$



Hình 2. Phổ hồng ngoại của bã cà phê được xử lý bằng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ở nồng độ 0,5M (SCG1), 1M (SCG2)

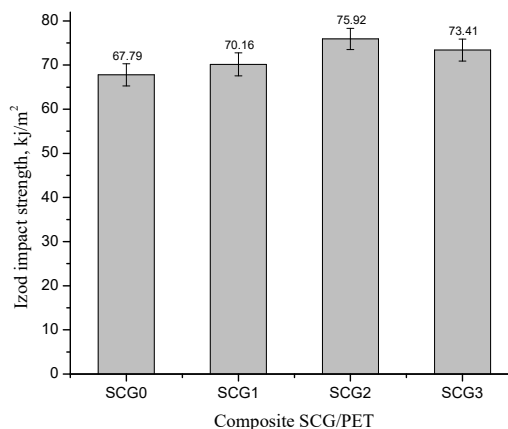
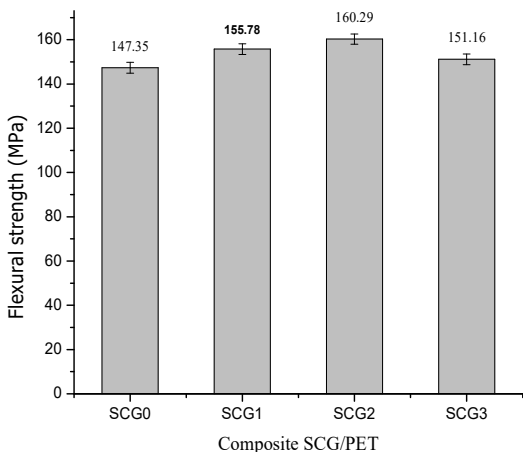
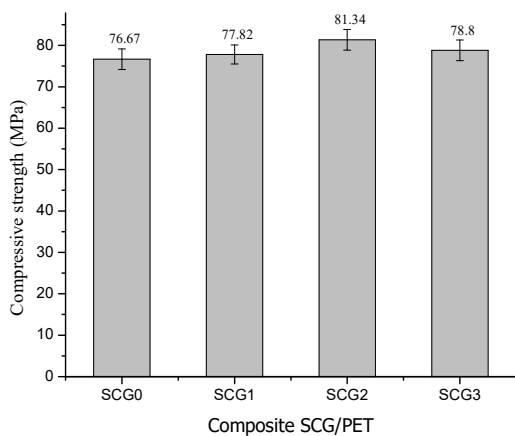
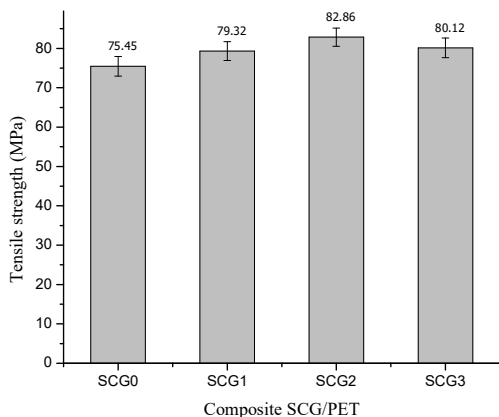


Hình 3. Phổ hồng ngoại của bã cà phê được xử lý bằng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ở nồng độ 0,0M (SCG0), 1,5M (SCG3)

Kết quả phổ hồng ngoại đã cung cấp thông tin chi tiết về các dải hấp thụ đặc trưng của các nhóm chức trong cấu trúc của xenlulo và hemixenlulo. Đặc biệt, sự hiện diện của dao động kéo giãn của nhóm O-H ở bước sóng  $3339\text{cm}^{-1}$  đã được quan sát rõ ràng. Các liên kết C-H trong nhóm  $\text{CH}_2$  của xenlulo và hemixenlulo đã tạo ra các đỉnh ở  $2921$  và  $2852\text{cm}^{-1}$ , cho thấy sự chồng chất của chúng. Đỉnh tại  $1743\text{cm}^{-1}$  đại diện cho dao động kéo giãn của nhóm este C=O. Cũng đáng chú ý là sự hiện diện của dao động C=C trong vòng thơm của lignin, được quan sát tại vị trí  $1650 - 1617\text{cm}^{-1}$ , cùng với nhóm C-O-C trong lignin được phát hiện ở khoảng  $1160\text{cm}^{-1}$ . Một đỉnh đặc trưng ở vị trí  $1057 - 1039\text{cm}^{-1}$  là kết quả của nhóm chức C-O trong

xenlulo. Xử lý sợi bằng nước vôi đã loại bỏ một phần lignin và hemicellulose, mặc dù tác động này không đáng kể so với mẫu bã cà phê chưa được xử lý. Điều này có thể được giải thích bởi nồng độ nước vôi thấp hoặc thời gian ngâm không đủ, như đã thể hiện trong hình 2 và 3.

**3.2. Tính chất cơ học của vật liệu SCG/PET composite**



Hình 4. Tính chất cơ học của các vật liệu composite SCG/PET (SCG0: bã cà phê chưa xử lý; SCG1: bã cà phê xử lý với 0,5M dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub>; SCG2: bã cà phê xử lý với 1,0M dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub>; SCG3: bã cà phê xử lý với 1.5M dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub>)

Vật liệu composite trên cơ sở nhựa PET gia cường bằng bã cà phê đã qua sử dụng được xử lý bằng phương pháp hóa học. Kết quả nghiên cứu tính chất cơ học (độ bền kéo, độ bền uốn, độ bền nén, độ bền va đập Izod) được trình bày ở hình 4. Từ kết quả hình 4, cho thấy vật liệu được gia cường bằng bã cà phê được xử lý bằng nước vôi trong Ca(OH)<sub>2</sub> có độ bền cơ học cao hơn bã cà phê chưa được xử lý. Kết quả xác lập các độ bền cơ học tốt nhất khi xử lý bã cà phê bằng dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub> ở nồng độ 1M (độ bền kéo: 82,86MPa; độ bền uốn: 160,29MPa; độ bền nén: 81,34MPa và độ bền va đập Izod: 75,92kJ/m<sup>2</sup>).

Việc xử lý hóa học bã cà phê bằng dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub>, ở nồng độ 1M đã chứng minh là một phương pháp hiệu quả để cải thiện đáng kể độ bền cơ học của vật liệu composite trên cơ sở nhựa PET. Sự hiệu quả của phương pháp này được xác nhận thông qua kết quả nghiên cứu tính chất cơ học, trong đó vật liệu được gia cường bằng bã cà phê đã qua xử lý bằng dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub> có độ bền cơ học cao hơn so với bã cà phê chưa được biến tính. Quá trình xử lý hóa học này tạo ra một loạt các phản ứng giữa các thành phần trong bã cà phê và Ca(OH)<sub>2</sub>. Trong quá trình này, các nhóm chức như hydroxyl trong Ca(OH)<sub>2</sub> có thể tương tác với các nhóm chức tương tự trong bã cà phê, tạo ra các liên kết hydrogen và các cấu trúc tương tác phức tạp khác. Kết quả của các phản ứng này là sự cải thiện đáng kể tính chất kết dính giữa các hạt bã cà phê và nhựa PET, dẫn đến một mạng lưới kết cấu vững chắc hơn và khả năng chịu tải cao hơn cho vật liệu composite. Thêm vào đó, việc xử lý bã cà phê bằng dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub> cũng có thể giúp tăng tính đồng nhất của hỗn hợp. Bằng cách làm giảm sự không đồng nhất

trong cấu trúc của vật liệu, quá trình xử lý này tạo điều kiện thuận lợi cho việc phân bố đều các hạt bã cà phê trong ma trận nhựa PET. Kết quả là, tính chất cơ học của vật liệu trở nên đồng đều và được tăng cường trên toàn bộ mẫu vật. Ngoài ra, phản ứng với  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  cũng có thể tạo ra các liên kết chéo hoặc tương tác bổ sung giữa các phân tử trong ma trận nhựa và bã cà phê. Những liên kết này không chỉ làm tăng độ bền của liên kết giữa các thành phần mà còn cải thiện khả năng chịu tải của vật liệu trong các điều kiện cơ học khác nhau.

Sự biến đổi của độ bền cơ học khi tăng nồng độ dung dịch  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  từ 0,5M lên 1,0M và sau đó giảm khi đạt đến 1,5M có thể được giải thích qua một số yếu tố quan trọng. Ban đầu, việc tăng nồng độ này có thể tăng cường sự tương tác hóa học giữa bã cà phê và  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , cải thiện tính chất kết dính và đồng nhất của vật liệu composite. Tuy nhiên, khi nồng độ tiếp tục tăng, có thể xảy ra hiện tượng quá mức phản ứng, dẫn đến sự suy giảm đột ngột về độ bền cơ học. Ngoài ra, điều kiện hóa học của dung dịch cũng đóng vai trò quan trọng, với nồng độ quá cao có thể gây ra sự phá hủy hoặc phản ứng phụ không mong muốn. Sự thay đổi trong phân bố các hạt bã cà phê trong ma trận nhựa PET cũng có thể góp phần vào sự biến đổi của độ bền cơ học. Cuối cùng, hiệu suất của quá trình phản ứng cũng cần được kiểm soát để đảm bảo sự ổn định của sản phẩm cuối cùng.

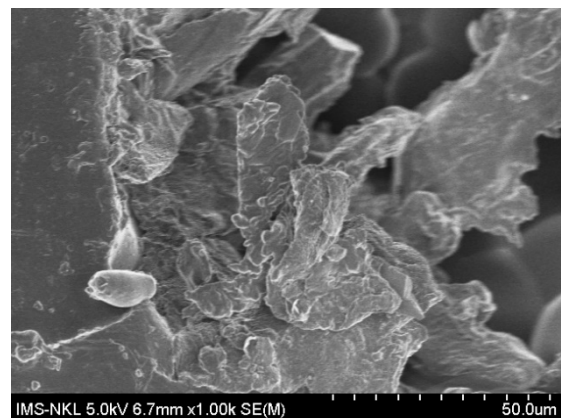
Việc xử lý bã cà phê bằng các phương pháp hóa học đã được chứng minh là cải thiện đáng kể các tính chất cơ học của vật liệu composite. Theo nghiên cứu của Nguyen và cộng sự, hybrid biocomposites được chế tạo từ bã cà phê đã qua sử dụng và nhựa epoxy cho thấy các tính chất cơ học vượt trội nhờ vào quá trình xử lý hóa học. Nghiên cứu này tập trung vào việc cải thiện các đặc tính cơ học như độ bền kéo và độ bền uốn, đồng thời tăng cường khả năng chống cháy của composite [14]. Một nghiên cứu khác bởi Alhelal và cộng sự cũng chỉ ra rằng việc sử dụng biochar từ bã cà phê đã qua xử lý hóa học làm chất gia cường cho nhựa epoxy trong công nghệ in 3D đã giúp tăng cường đáng kể các tính chất cơ học của composite. Nghiên cứu này nhấn mạnh rằng biochar, sau khi được xử lý hóa học, có khả năng kết dính tốt hơn với nhựa epoxy, dẫn đến composite có độ bền cao hơn và khả năng chịu lực tốt hơn [15].

Cụ thể, quá trình xử lý hóa học thường bao gồm việc xử lý bề mặt của bã cà phê với các tác nhân hóa học như axit hoặc kiềm để loại bỏ tạp chất và tạo ra các nhóm chức năng hoạt động trên bề mặt. Những nhóm chức năng này có thể tạo liên kết hóa học mạnh mẽ với nhựa epoxy, cải

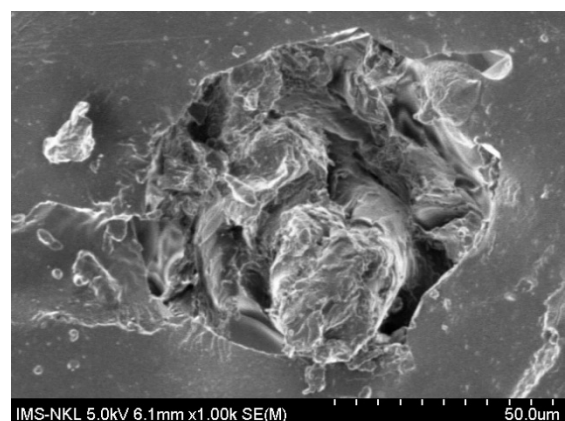
thiện sự phân tán và kết dính của bã cà phê trong nền nhựa, từ đó nâng cao tính chất cơ học của composite. Ngoài ra, quá trình xử lý này cũng có thể giúp tăng cường khả năng chống cháy của vật liệu, một yếu tố quan trọng trong nhiều ứng dụng kỹ thuật [14, 15]. Việc xử lý bã cà phê bằng phương pháp hóa học không chỉ giúp nâng cao các tính chất cơ học mà còn mở rộng ứng dụng của composite trong các lĩnh vực khác nhau, từ bao bì, vật liệu xây dựng đến các sản phẩm kỹ thuật cao. Tóm lại, việc áp dụng phương pháp xử lý hóa học bã cà phê bằng dung dịch  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ở nồng độ 1M không chỉ cải thiện tính chất cơ học của vật liệu composite trên cơ sở nhựa PET mà còn tối ưu hóa sự sử dụng của nguồn nguyên liệu tái chế, đóng góp vào việc giảm thiểu lượng chất độc hại như sử dụng kiểm hiện nay và tạo ra vật liệu polyme composite có độ bền cơ học tốt hơn.

### 3.3. Hình thái cấu trúc của vật liệu composite SCG/PET

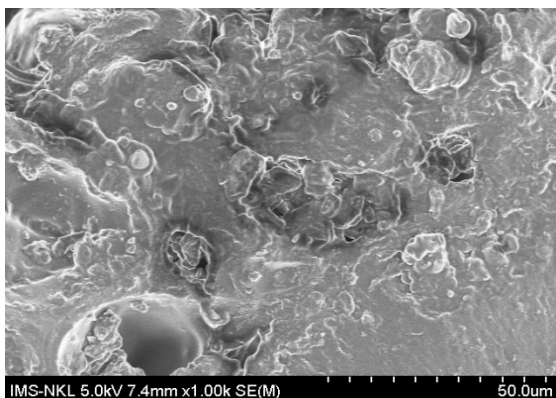
Từ kết quả chụp SEM hình 5 (a, b, c, d) cho thấy các hạt bã cà phê đã tương hợp với nhựa nền PET. Đặc biệt bã cà phê sau khi được xử lý bằng dung dịch  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ở nồng độ 1M, hình 5 (c) cho thấy sự tương hợp được quan sát thấy là tốt nhất. Kết quả này lại càng được khẳng định khi quan sát ở độ phóng đại lớn hơn (hình 5 e, f).



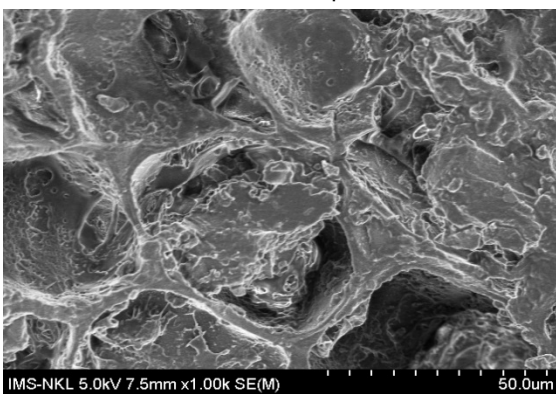
(a) PET/SCG0 Composite



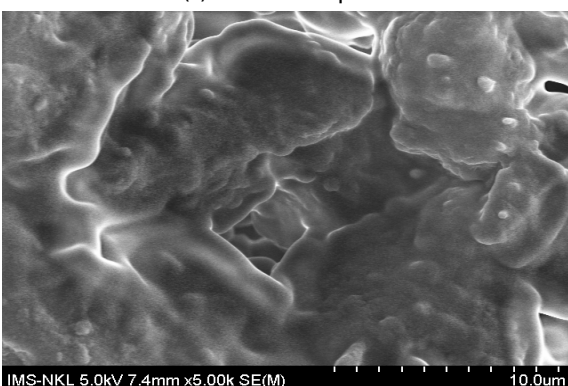
(b) PET/SCG1 Composite



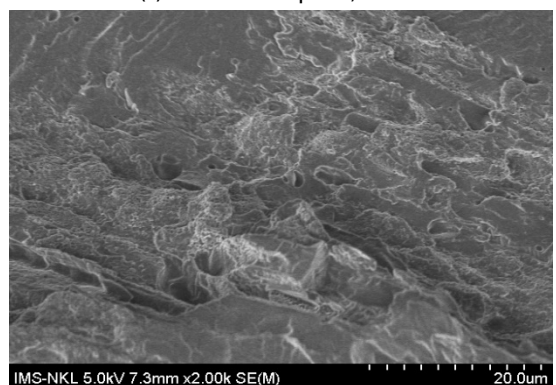
(c) PET/SCG2 Composite



(d) PET/SCG3 Composite



(e): PET/SCG2 Composite,  $\times 5.00k$



(f): PET/SCG2 Composite,  $\times 2.00k$

Hình 5. Ảnh SEM của các vật liệu composite nền PET gia cường bằng bã cà phê chưa xử lý và đã xử lý bằng dung dịch  $Ca(OH)_2$  ở các nồng độ 0,5M; 1M; 1,5M

Khi quan sát dưới kính hiển vi điện tử quét (SEM), sự tương tác giữa các hạt bã cà phê và nhựa nền PET được hiện rõ. Lý do cho hiện tượng này có thể được giải thích như sau:

*Tăng tính chất bề mặt:* Việc xử lý bã cà phê bằng dung dịch  $Ca(OH)_2$  có thể tạo ra các phản ứng hóa học và thay đổi tính chất bề mặt của các hạt bã cà phê. Kết quả là, bề mặt của chúng trở nên tương tác tốt hơn với nhựa nền PET, tạo điều kiện lý tưởng cho quá trình tương hợp giữa hai pha.

*Cải thiện tính đồng nhất:* Việc xử lý bã cà phê bằng  $Ca(OH)_2$  ở nồng độ 1M có thể giúp cải thiện tính đồng nhất của hỗn hợp. Điều này có nghĩa là, các hạt bã cà phê được phân bố đều và kết hợp một cách đồng nhất trong ma trận nhựa PET, tạo ra sự tương tác mạnh mẽ hơn giữa các thành phần.

*Tăng cường liên kết:* Xử lý bã cà phê bằng dung dịch  $Ca(OH)_2$  có thể tạo ra các liên kết hoặc tương tác bổ sung giữa các phân tử trong bã cà phê và nhựa PET. Sự tăng cường này có thể làm tăng sự kết dính và tương tác giữa hai pha, cải thiện sự tương hợp và tính chất cơ học của vật liệu composite. Kết quả này được khẳng định khi quan sát ở độ phóng đại lớn hơn, từ đó xác nhận rằng xử lý bã cà phê bằng dung dịch  $Ca(OH)_2$  ở nồng độ 1M tạo ra sự tương hợp tốt nhất giữa bã cà phê và nhựa nền PET.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã chứng minh được tiềm năng của việc tận dụng hai loại chất thải chính từ ngành công nghiệp thực phẩm, bã cà phê đã qua sử dụng (SCG) và chai PET sau khi sử dụng (PETbot), để tạo thành vật liệu composite sinh học. Quá trình xử lý SCG bằng dung dịch  $Ca(OH)_2$ , đặc biệt là ở nồng độ 1,0M, đã cho thấy hiệu suất tốt nhất trong việc làm sạch và làm mềm SCG, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình tái chế. Sự tương hợp giữa bã cà phê và nhựa nền PET đã được thể hiện rõ qua kết quả chụp SEM, đặc biệt là khi sử dụng dung dịch  $Ca(OH)_2$  ở nồng độ 1,0M. Kết quả thí nghiệm cũng đã xác định được các độ bền cơ học tốt nhất của vật liệu composite nền PET gia cường bằng SCG khi xử lý bằng dung dịch  $Ca(OH)_2$  ở nồng độ 1M, đồng thời đưa ra các giá trị cụ thể cho các chỉ số độ bền kéo, độ bền uốn, độ bền nén và độ bền va đập Izod. Các kết quả này đã góp phần khẳng định tiềm năng của vật liệu composite dựa trên PET và SCG trong các ứng dụng thực tế, đồng thời mở ra triển vọng cho việc tận dụng chất thải và tạo ra các giải pháp bền vững trong ngành công nghiệp thực phẩm.

---

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1]. Zhang Y., Zhou Q., Liu F., "A review on the environmental impact of coffee industry and the utilization of its by-products," *Journal of Cleaner Production*, 260, 121108, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121108

[2]. Soares M. G., Souza D. M., De Barros S., "An overview of the utilization of coffee husk as a potential bioresource," *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 370-380, 2019. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.11.022

[3]. Kulkarni R. K., Pramod B., "A review on recycling of polyethylene terephthalate," *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 57(6), 532-543, 2018. DOI: 10.1080/25740881.2017.1410067

[4]. Pervaiz M., Sain M., "Carbonaceous coffee waste based biocomposites: A review," *Composites Part B: Engineering*, 176, 107286, 2019. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.107286

[5]. Wong J. X., Wan Daud W. R., Aroua M. K., "Overview of coffee industry waste utilization: An opportunity for the production of biopolymer composites," *Journal of Cleaner Production*, 187, 533-542, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.303

[6]. Tan L., Tian D., Zhang X., "Utilization of coffee grounds as a renewable source for biofuels and other value-added products: A review," *Journal of Cleaner Production*, 218, 87-99, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.120

[7]. Ciornei A. C., Prundeanu A., "Polyethylene terephthalate (PET) recycling for sustainable development," *Environmental Engineering and Management Journal*, 17(10), 2431-2441, 2018.

[8]. Rosales-García J. R., González-Laredo R. F., Campos-Ramos J. A., "Recycling of polyethylene terephthalate (PET): Current status and future trends," *Materials Recycling: Trends and Perspectives*, 11-29, 2019.

[9]. R. Campos-Vega, et al., "Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects," *Trends Food Sci. Technol.*, 2015.

[10]. P. Das, et al., "Thermal degradation study of waste polyethylene terephthalate (PET) under inert and oxidative environments," *Thermochim Acta*, 2019.

[11]. M.K. Eriksen, et al., "Closing the loop for PET, PE and PP waste from households: Influence of material properties and product design for plastic recycling," *Waste Manage*, 2019.

[12]. R. Campos-Vega, et al., "Spent coffee grounds: a review on current research and future prospects," *Trends Food Sci Technol*, 2015.

[13]. C. S. Wu, "Renewable resource-based green composites of surface-treated spent coffee grounds and polylactide: Characterisation and biodegradability," *Polym Degrad Stabil*, 2015.

[14]. Nguyen T. A., Nguyen Q. T., "Hybrid Biocomposites Based on Used Coffee Grounds and Epoxy Resin: Mechanical Properties and Fire Resistance," *Int. J. Chem. Eng.*, 1919344, 2021.

[15]. Alhelal A., Mohammed Z., Jeelani S., Rangari V. K., "3D printing of spent coffee ground derived biochar reinforced epoxy composites," *J. Compos. Mater.*, 55, 3651-3660, 2021.

---

**AUTHORS INFORMATION**

**Nguyen Tuan Anh, Than Thi Nhu Quynh, Le Thi Thanh Tam, Giap Thi Tham, Dang Xuan Dang, Nguyen Tien Dzung**

Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam