Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ – Natural Sciences 2024, 8(3):3063-3075

Open Access Full Text Article

Bài nghiên cứu

Cải thiện tính chất nhiệt và đặc tính cháy của aerogel từ nanocellulose và graphene oxide bằng sodium bicarbonate

Khổng Bảo Duy, Dương Thụy Trúc Hân, Lý Hiểu Phương, Nguyễn Tường Vy*

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tổng hợp vật liệu aerogel thân thiện với môi trường có nguồn gốc từ sợi nanocelllulose (CNF) kết hợp với graphene oxide (GO), polyvinyl alcohol (PVA) và sodium bicarbonate (NaHCO3) với định hướng cải thiện tính chất nhiệt và đặc tính cháy của aerogel chế tạo từ nanocellulose và graphene oxide. Aerogel thu được bằng kỹ thuật sấy đông khô có mật độ thấp (0,2236 g/cm^3), độ xốp cao 85,92%, diện tích bề mặt riêng khi hấp phụ khí xấp xỉ 44,6 m^2/g và khi giải hấp khí xấp xỉ 67,05 m^2/g. Ngoài ra, aerogel tạo thành còn được phân tích cấu trúc thông qua nhiễu xạ tia X (XRD), quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) và kính hiển vi điện tử quét (SEM). Nghiên cứu cho thấy sự có mặt của NaHCO3, một chất phụ gia chống cháy xanh và giá thành thấp, đã cải thiện đáng kể độ ổn định nhiệt, khả năng bắt cháy của aerogel trên nền nanocellulose. Ngoài ra, việc có mặt thêm thành phần chống cháy này gần như không gây ảnh hưởng tới khả năng hấp phụ loại bỏ MB của aerogel tạo thành, với hiệu suất loại bỏ vẫn ổn định trên 95% sau 5 chu kỳ tái sử dụng. Từ những kết quả trên, bước đầu đã cho thấy vật liệu aerogel CNF/GO/PVA/NaHCO3 là một vật liệu nhẹ có mật độ thấp, diện tích bề mặt lớn thuận lợi cho các ứng dụng hấp phụ xử lý môi trường. Bên cạnh đó, vật liệu này còn có độ bền và độ ổn định nhiệt đã được cải thiện đáng kể từ đó mở ra hướng ứng dụng mới cho loại vật liệu hấp phụ này trong lĩnh vực chống cháy.

Từ khoá: Aerogel, hấp phụ, phụ gia chống cháy, thân thiện với môi trường, xử lý nước

Khoa Khoa học và Công nghệ Vật liệu, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Nguyễn Tường Vy, Email: ngtvy@hcmus.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 31-01-2024
- Ngày sửa đổi: 13-6-2024
- Ngày chấp nhận: 19-9-2024
- Ngày đăng: 30-9-2024

DOI :

https://doi.org/10.32508/stdjns.v8i3.1368

Check for updates

Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

VNUHCM PRESS

MỞ ĐẦU

Sự ra đời của ngành công nghiệp dệt may, giày, da đã mang đến và tạo ra nhiều cơ hội việc làm cho người lao động. Theo ước tính, hằng năm ngành công nghiệp dệt nhuộm sử dụng 25% lượng hóa chất trên toàn thế giới và 20% lượng ô nhiễm toàn cầu do chính ngành công nghiệp này thải ra, việc này gây hại đến sức khỏe con người và tác động tiêu cực đến hệ sinh thái dưới nước. Trong đó, methylene xanh (MB) là một trong những loại thuốc nhuộm điển hình được sử dụng trong rất nhiều nghiên cứu để đánh giá khả năng hấp phụ và xử lý nước thải nhiễm thuốc nhuộm của các loại vật liệu hấp phụ [1]. Vì vậy, việc tìm và tạo ra các vật liệu xanh có thể xử lý nước nhiễm thuốc nhuộm đang là vấn đề được quan tâm hiện nay. Trong đó, vật liệu aerogel nanocellulose được xem là một trong những giải pháp bởi vì đặc tính thân thiện với môi trường và khả năng hấp phụ tốt của loại vật liệu này [2,3]. Tuy nhiên, vấn đề của loại vật liệu aerogel này là độ bền trong quá trình hấp phụ xử lý nước do các đặc tính ưa nước của cellulose, nên các aerogel nanocellulose thường được kết hợp thêm với các pha gia cường khác để tăng được độ bền trong nước, đồng thời vẫn đảm bảo được khả năng hấp phụ như GO [4], kết hợp đồng thời với quá trình khâu mạng bằng các hoạt chất hóa học như glutaraldehyde [5] để đảm bảo độ bền tốt nhất cho vật liệu. Bên cạnh đó, độ bền nhiệt cũng là một trong những tính chất còn hạn chế của các aerogel nanocellulose so với các loại aerogel khác, nên việc kết hợp thêm các thành phần chống cháy cũng là một cách được xem xét để cải thiện phần nào đặc tính này của aerogel nanocellulose [6]. Việc cải thiện tính chất nhiệt và đặc tính cháy của aerogel nanocellulose sẽ giúp cải thiện khả năng tái chế loại bỏ các chất đã hấp phụ trong aerogel bằng phương pháp nhiệt. Trong nghiên cứu này, chúng tôi chế tạo vật liệu aerogel nanocellulose kết hợp với graphene oxide, và NaHCO3 được thêm vào như một phụ gia chống cháy thân thiện môi trường và rẻ tiền thông qua phương pháp trộn và đông khô đơn giản để cải thiện độ bền nhiệt của aerogel tạo thành đồng thời vẫn đảm bảo được một trong các ứng dụng quan trọng của loại aerogel này trong lĩnh vực xử lý nước thải nhiễm thuốc nhuộm methylene xanh.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Vật liệu

Cuống lá cây dừa nước được thu nhận từ Thành phố Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh sau đó

Trích dẫn bài báo này: Duy K B, Hân D T T, Phương L H, Vy N T. **Cải thiện tính chất nhiệt và đặc tính cháy của aerogel từ nanocellulose và graphene oxide bằng sodium bicarbonate**. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.* 2024; 8(3):3063-3075.

mang đi phơi khô được xay thành bột. Acid sunfuric (H_2SO_4, 98%), acid phosphoric (H_3PO_4, 85%), acid acetic (CH_3COOH, 96%), hydrogen peroxide (H_2O_2, 30%), kalipenmaganat ($KMnO_4$, 99,5%), natri hydroxide (NaOH, 96%), natri hypochlorite (NaClO, 8%) và natri bicarbonat ($NaHCO_3$, 99,5%) tất cả được mua từ công ty hóa chất ở Xilong, Trung Quốc. Glutaraldehyde 50% được mua từ Aladdin, Trung Quốc. Graphite 99% được mua từ Sigma-Alrich, Đức. Polyvinyl alcohol (PVA, khối lượng phân tử ~ 160 000 M, độ thủy phân 86,50 – 89,00%) được mua từ Himedia, Ấn Độ. Methylene xanh (MB) ($C_{16}H_{18}N_3SCl.3H_2O$) được cung cấp bởi công ty dược phẩm OPC).

Phương pháp nghiên cứu

Các mẫu sau khi sấy khô ở 60°C được nghiền thành bột và bảo quản ở độ ẩm khoảng 35%. Cấu trúc hóa học được phân tích bằng quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) trên máy quang phổ Nicolet iS10 FT-IR (Thermo Scientific, Mỹ) được quét từ số sóng 4000 – 400 cm^{-1}, độ phân giải 4 cm^{-1}.

Giản đồ quang phổ nhiễu xạ tia X (XRD) được phân tích trên máy nhiễu xạ Empyrean (Panalytical, Hà Lan). Mẫu được sấy khô và quét góc 2θ từ 5°– 40°, điện áp gia tốc 40 kV, cường độ dòng 40 mA, bức xạ Cu - Kα (tấm lọc Ni). Độ kết tinh của mẫu được tính theo công thức Segal[7].

$$CrI\,(\%) = 1 - \frac{I_{am}}{I_c} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó, I_c là cường độ của mặt mạng tinh thể (200) tại 2θ = 22,29°, I_am là cường độ của mũi nhiễu xạ thấp nhất tại 2θ = 16,1° với mặt mạng tinh thể (110). Kích thước tinh thể được tính theo công thức của Debye-Scherrer[7].

$$D\,(nm) = \frac{\kappa.\lambda}{\beta.\cos\theta} \quad (2)$$

Với κ = 0,91 là hằng số Scherrer, bước sóng λ = 0,154 nm, β (radian) là độ bán rộng của mũi tính hiệu và θ (độ) là góc nhiễu xạ tại mũi đó.

Bề mặt hình thái (SEM) của vật liệu aerogel và kích thước sợi được xác định qua kính hiển vi điện tử quét FESEM S4800, Hitachi (HiTech – Nhật Bản) độ phóng đại từ 50 – 2000 lần, với điện áp gia tốc 10 kV.

Thí nghiệm kiểm tra độ bền nhiệt: độ bền nhiệt của các mẫu được xác định qua máy phân tích nhiệt – khối lượng (TGA) Linseis STA PT 1600 (Đức), tốc độ quét 4L/h, các mẫu được gia nhiệt từ nhiệt độ phòng đến 800°C với tốc độ gia nhiệt 10°C/phút trong môi trường khí argon.

Thí nghiệm kiểm tra khả năng chống cháy qua việc đo cách nhiệt và đo chống cháy. Thí nghiệm đo khả năng cách nhiệt của các mẫu aerogel CNF/GO/PVA và aerogel có NaHCO3 được tiến hành như sau: các aerogel được cắt theo hình trụ có cùng kích thước 1 x 2,3 cm được đặt giữa tấm nhôm với kích thước 2 x 100 x 100 mm (dầy × dài × rộng) và đầu que diêm ở giữa mẫu aerogel, sau đó được gia nhiệt bằng đèn cồn và quan sát hành vi cháy của đầu que diêm.

Thí nghiệm kiểm tra tính chống cháy các mẫu aerogel được tiến hành như sau: các aerogel có cùng kích thước 1 x 2,3 cm được đốt trên đèn cồn nghiêng góc 45° so với ngọn lửa[8–10]. Sau đó tiến hành quan sát hành vi cháy của các mẫu.

Thí nghiệm hấp phụ loại bỏ methylene xanh của các mẫu aerogel được thực hiện bằng cách cho 0,10 gam chất hấp phụ vào 50,00 mL nước có methylene xanh (MB, 20 mg/L) ở 298K. Thí nghiệm hấp phụ khuấy bằng máy khuấy từ với tốc độ 300 rpm.

Quy trình giải hấp được thực hiện các mẫu được tiến hành theo quy trình sau: các aerogel sau khi đạt bão hòa hấp phụ MB trong lần hấp phụ thứ 1 sẽ được ngâm trong 50 ml ethanol trong 90 phút để giải hấp hết lượng MB đã hấp phụ trong cấu trúc (cho tới khi dung môi ethanol không màu), sau đó cả aerogel và túi lọc được để khô tự nhiên trong 24 h đến khi khối lượng không đổi. Khối lượng aerogel và túi lọc trước và sau khi tái hấp phụ đều được ghi nhận lại. Thí nghiệm tái hấp phụ trong chu kì thứ hai được khảo sát tương tự quy trình hấp phụ lần thứ nhất, làm tương tự cho các chu kì hấp phụ và tái hấp phụ tiếp theo.

Nồng độ MB trước và sau khi hấp phụ được đo bằng máy quang phổ tử ngoại khả kiến (UV-Vis) JASON V-730 (Nhật Bản) với bước sóng chạy từ 350 nm – 900 nm. Để đánh giá về động học hấp phụ của aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ trên MB, dữ liệu động học của quá trình hấp phụ MB được biểu diễn bằng hai mô hình động học biểu kiến bậc một và bậc hai theo phương trình 3 và 4:

$$\ln\,(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (3)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

Trong đó: q_e và q_t (mg/g) lần lượt là hàm lượng thuốc nhuộm MB được hấp phụ tại thời điểm cân bằng và tại thời điểm t khác nhau; k_1 (phút^{-1}), k_2 (g/mg × phút) lần lượt là hằng số tốc độ theo mô hình động học hấp phụ bậc một và bậc hai.

Các mẫu sau khi bảo quản trong tủ lạnh trong 24 h ở nhiệt độ 4°C sẽ được phân tích điện tích hạt thông qua máy HORIBA SZ−100 (Nhật Bản) với độ nhớt

phân tán trung bình: 0,897 mPa·s, độ dẫn điện: 0,920 mS/cm và sử dụng điện áp điện cực: 3,3 V.

Các mẫu được đem thực hiện thí nghiệm đo nén bằng máy đo độ bền kéo Shimadzu model AGS-10kNX, Nhật Bản và được hỗ trợ với phần mềm TRAPEZIUM LITE X. Theo chuẩn ASTM D 1621, mẫu thử nghiệm có đường kính 2,3 cm, cao 2,5 cm, mẫu được nén với tốc độ 5 mm/phút với độ biến dạng 80%.

Các mẫu aerogel sau khi sấy đông khô và được đo diện tích bề mặt riêng Brunauer Emmett Teller (BET) và kích thước đường kính mao quản bằng máy BET – 201A hãng Porous Materials Inc, Mỹ. Mẫu ở dạng khối phân tích ở nhiệt độ -195,65°C.

Chế tạo nanocellulose CNF

Nanocellulose CNF từ bột cuống lá dừa nước được tiến hành theo quy trình đã công bố trước đó của nhóm[7], theo các bước sau; Đầu tiên, sợi dừa đã nghiền mịn cùng với nước cất cho vào bình cầu ba cổ và tiến hành khuấy ở 90°C trong 1 h. Sau đó, sợi được lọc, rửa và sấy ở 65°C cho đến khối lượng không đổi. Tiếp tục, sợi được sử lý bằng dung dịch sodium hydroxide 5% (NaOH) cho vào bình cầu ba cổ, khuấy ở 90°C trong 1 h để loại bỏ pectin, hemicellulose và các tạp chất khác. Sợi được lọc, rửa bằng nước cất đến khi pH bằng 7 và sấy đến khối lượng không đổi. Cuối cùng, sợi được xử lý với acid acetic (CH_3COOH) và sodium hypochloride 5% (NaClO) ở 75 °C trong 2 h để loại bỏ lignin. Sau đó, lọc và rửa bằng nước cất đến khi pH bằng 7. Quá trình này thực hiện 2 lần. Cuối cùng, đánh siêu âm và ly tâm thu được CNF.

Tổng hợp graphene oxide GO

GO được tổng hợp dựa theo phương pháp Hummer cải tiến[11]. Chuẩn bị H_2SO_4 và H_3PO_4 với tỉ lệ 9:1 (v/v) cho vào bình cầu ba cổ và khuấy ở 50°C. Khi nhiệt độ của hệ ổn định ở 50°C, cho graphite và $KMnO_4$ vào bình cầu, tiếp tục khuấy ổn định nhiệt ở 50°C trong 12 h. Sau khi kết thúc, hỗn hợp được đổ ra cốc 3 lít chứa sẵn nước cất đã được làm lạnh và tiến hành khuấy từ. Tiếp tục nhỏ từ từ dung dịch H_2O_2 vào hỗn hợp cho đến khi dung dịch đổi sang màu vàng sáng. Cuối cùng, đem ly tâm với nước cất nhiều lần đến khi pH bằng 7.

Chế tạo aerogel chống cháy từ nanocellulose, graphene oxide, polyvinyl alcohol và $NaHCO_3$ (CNF/GO/PVA/ $NaHCO_3$)

Cho 0,8 g $NaHCO_3$ và huyền phù CNF (4 g, 1,5wt%) cho vào cốc và khuấy từ ở 100°C trong 1 h. Sau đó, cho hỗn hợp vào cốc inox cùng với huyền phù GO (1 g, 1,5 wt%) và dung dịch PVA (0,6 g, 0,1 g/ml), tiến hành khuấy cơ trong 1 h. Sau đó, cho dung dịch acid sunfuric 1% (H_2SO_4) và dung dịch glutaraldehyde 25% vào hỗn hợp, tiếp tục khuấy trong 1 h. Hỗn hợp sau đó mang đi siêu âm trong 30 phút và sấy ở 75°C trong 3 h. Cuối cùng mẫu bảo quản ở 4 °C trong 24 h trước khi sấy theo phương pháp đông khô để thu được aerogel CNF/GO/PVA/ $NaHCO_3$.

Aetrogel không có phụ gia chống cháy được chế tạo theo quy trình tương tự với việc bỏ qua bước cho $NaHCO_3$.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Cấu trúc của CNF

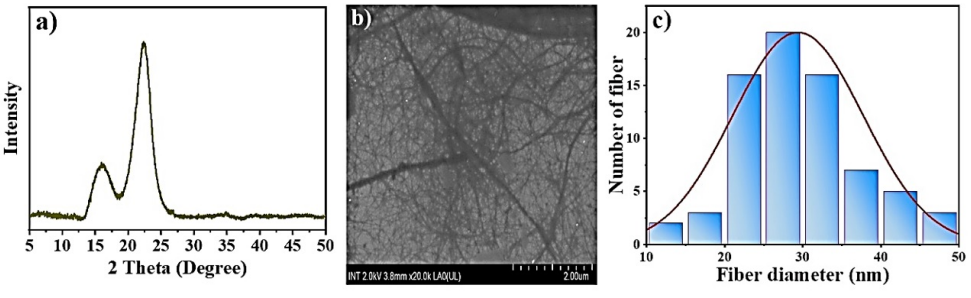
Giản đồ nhiễu xạ XRD của CNF thể hiện ở Hình 1a cho thấy có sự xuất hiện hai đỉnh nhiễu xạ ở góc nhiễu xạ $2\theta = 16,1°$ (110) và $2\theta = 22,29°$ (200) đặc trưng cho cấu trúc tinh thể nanocellulose[12].

Sau khi tiến hành trừ đường nền và lấy cường độ bằng phần mềm origin theo chuẩn Savizky Golay kết hợp với công thức (1) và (2) ta có kết quả của độ kết tinh và kích thước tinh thể được hiển thị trong Bảng 1.

Ảnh FESEM của CNF dùng để xác định kích thước tinh thể nanocellulose. Từ hình ảnh chụp FESEM được thể hiện ở Hình 1b cho thấy CNF có cấu trúc dạng sợi. Các bó sợi trong cấu trúc của cellulose đã được tách thành những sợi riêng lẻ có kích thước nhỏ hơn do NaOH và CH3COOH được sử dụng trong quá trình xử lí kiềm sợi đã phá huỷ các liên kết eter và ester giữa cellulose với hemicellulose và lignin. Đường kính sợi CNF được tính toán bằng phần mềm ImageJ. Từ giản đồ phân bố kích thước sợi ở Hình 1c, ta có thể thấy đường kính sợi phân bố từ 10 đến 50 nm, tập trung nhiều nhất ở khoảng 20 – 35 nm. Hai cách tính toán dựa trên XRD và FESEM có sự chênh lệch trong kích thước của CNF, sự khác biệt này là bản chất hai phương pháp phân tích là khác nhau. Tuy nhiên cả hai phương pháp đều cho thấy CNF tạo thành đã có kích thước ở thang nanomet.

Cấu trúc của các aerogel

Giản đồ XRD ở Hình 2 cho thấy nanocellulose có hai đỉnh đặc trưng cho cấu trúc tinh thể là $2\theta = 16,1°$ (110) và $2\theta = 22,29°$ (200). Graphene oxide xuất hiện một đỉnh nhiễu xạ ở góc $2\theta = 10,9°$ tại mặt mạng (001) đặc trưng cho cấu trúc của GO[11]. Đối với polyvinyl alcohol xuất hiện một đỉnh nhiễu xạ ở góc nhiễu xạ $2\theta = 19,7°$ tại mặt mạng (101) đặc trưng cho cấu trúc của PVA. Giản đồ XRD của aerogel CNF/GO/PVA chỉ xuất hiện một đỉnh nhiễu xạ ở góc $2\theta = 22,29°$ đặc trưng cho cấu trúc của CNF mà không thấy sự xuất hiện của đỉnh đặc trưng cho GO và PVA điều này chứng tỏ có sự tương tác giữa

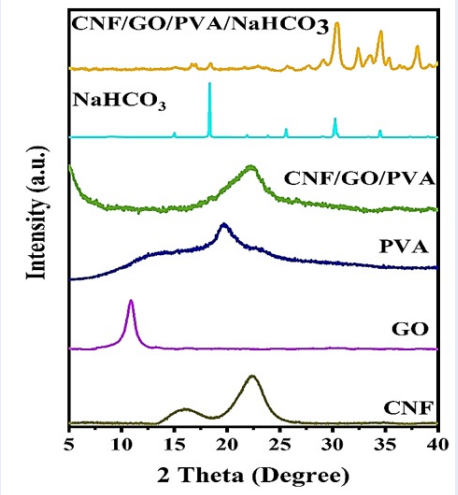


Hình 1: Giản đồ XRD (a), ảnh chụp FESEM (b) và giản đồ phân bố kích thước sợi của CNF (c).

Bảng 1: Độ kết tinh và kích thước tinh thể của sợi CNF

Tên mẫu	Độ kết tinh (%)	Kích thước tinh thể (nm)		
CNF	75,86	(110)	(200)	Trung bình
		2,3507	3,2480	2,7994

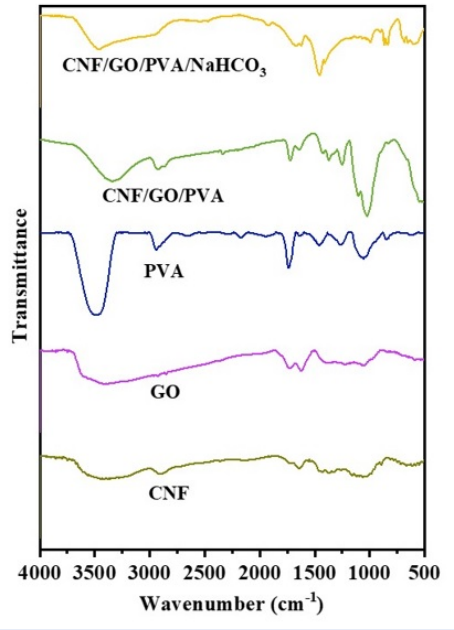
GO và PVA trong CNF và làm thay đổi trật tự sắp xếp trong cấu trúc của GO và PVA khi phân tán trong CNF. Trong khi đó, giản đồ XRD của aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ chỉ thấy được sự xuất hiện của các đỉnh nhiễu xạ ở khoảng 2θ = 18,5°, 30,5°, 34,6° đặc trưng cho cấu trúc tinh thể vô cơ của muối $NaHCO_3$, do các đỉnh này xuất hiện với cường độ cao nên gần như các đỉnh đặc trưng của các thành phần khác như CNF, GO hay PVA không thể quan sát được trong giản đồ XRD của aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$.



Hình 2: Giản đồ XRD của CNF, GO, PVA, aerogel CNF/GO/PVA, $NaHCO_3$ và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$

Cấu trúc của các aerogel tạo thành được đánh giá thông qua phân tích phổ hồng ngoại biến đổi Fourier được thể hiện ở Hình 3. Trong phổ của CNF đều xuất hiện đủ các mũi tín hiệu đặc trưng cho cấu trúc của vật liệu nanocellulose như: ở dải tín hiệu 3000 − 3600 cm^{-1} đặc trưng cho dao động kéo dãn của nhóm hydroxyl (−OH), mũi ở 2903 cm^{-1} đặc trưng cho dao động kéo dãn của nhóm C−H và mũi ở 1055 cm^{-1} đặc trưng cho dao động kéo dãn của nhóm C−O−C. Đối với graphene oxide, ta thấy có sự xuất hiện của mũi tín hiệu mạnh ở 3405 cm^{-1}đặc trưng cho dao động kéo dãn của hydroxyl, ở mũi tín hiệu 2924 cm^{-1}với cường độ tín hiệu yếu đặc trưng cho dao động kéo dãn −CH, 1732 cm^{-1} đặc trưng cho dao động kéo dãn C=O của nhóm carboxylic, 1620 cm^{-1}đặc trưng cho dao động kéo dãn của nhóm C=C của vòng thơm và mũi tín hiệu 1215 cm^{-1}đặc trưng cho dao động kéo dãn của nhóm C−O−C của vòng epoxy[13]. Đối với polyvinyl alcohol xuất hiện mũi tín hiệu mạnh ở 3491 cm^{-1} đặc trưng cho dao động kéo dãn −OH, 2939 cm^{-1} đặc trưng cho sự kéo dãn của nhóm −CH3, −CH2 và −CH, 1731 cm^{-1} đặc trung cho dao động kéo dãn của nhóm carbonyl (C=O), 1052 cm^{-1} đặc trưng cho dao động kéo dãn của nhóm C−O−C[14]. Aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/NaHCO3 đều tồn tại các đỉnh đặc trưng của CNF, GO và PVA. Ngoài ra, aerogel CNF/GO/PVA/NaHCO3 còn có sự xuất hiện của hai mũi tín hiệu mới ở 1460 cm-1 và 835 cm-1 đặc trưng cho dao động uốn của nhóm O=C=O, cho thấy có NaHCO3 trong cấu trúc của aerogel CNF/GO/PVA/NaHCO3. Trong phổ FTIR của hai aerogel, sự dịch chuyển số sóng của mũi tín hiệu trong

vùng 3000 – 3600 cm^{-1} của dao động kéo dãn của nối O-H là do tương tác giữa các thành phần bên trong của hai aerogel này thông qua các nối hydrogen liên phân tử [4,7,15].



Hình 3: Phổ FTIR của CNF, GO, PVA, aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$.

Để quan sát rõ hơn về bề mặt hình thái của vật liệu aerogel ta tiến hành quan sát qua phân tích ảnh SEM và ảnh kĩ thuật số của aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ được thể hiện ở Hình 4. Từ ảnh SEM, ta có thể quan sát được các aerogel được tạo thành có cấu trúc không đồng nhất với kích thước lỗ xốp ngẫu nhiên. Kích thước được xác định thông qua phương pháp phân tích diện tích bề mặt riêng thể hiện kết quả như trong Bảng 2.

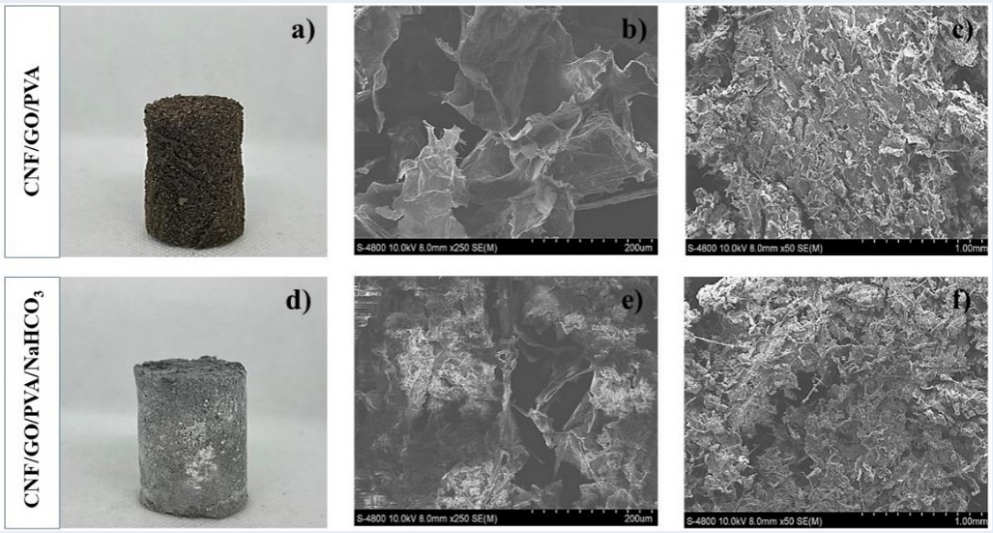
Bảng 2 cho thấy rằng sự xuất hiện của $NaHCO_3$ bám trên bề mặt của vật liệu aerogel dẫn đến mật độ của các aerogel có $NaHCO_3$ cao hơn và độ xốp thấp hơn so với aerogel CNF/GO/PVA. Aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ đều có diện tích bề mặt riêng S_{BET} ở quá trình giải hấp cao hơn hấp phụ. Kích thước đường kính mao quản ở quá trình giải hấp cao hơn quá trình hấp phụ của aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ ngược lại với aerogel CNF/GO/PVA. Điều này cho thấy rằng khả năng hấp phụ của aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ cao hơn aerogel CNF/GO/PVA. Aerogel CNF/GO/PVA có cấu trúc mạng ba chiều do sự kết hợp giữa các sợi CNF và các tấm GO dạng lớp, cấu trúc được bền hóa bởi tương tác hydrogen và quá trình khâu mạng của PVA với glutaraldehyde, tạo các mao quản lớn và ngẫu nhiên trong aerogel được thể hiện trong Hình 4a. Trong khi đó, mặt cắt dọc của aerogel CNF/GO/PVA/NaHCO cho thấy gồm các sợi và khung dạng tấm hai chiều với các cạnh nhỏ bị xẹp xuống thể hiện ở Hình 4e, ngoài ra còn có thể quan sát thấy sự bao phủ trên bề mặt aerogel bởi các hạt tinh thể muối $NaHCO_3$ làm che lấp các mao quản bên dưới mặc dù vẫn quan sát được dạng cấu trúc xốp của vật liệu. Tương tự ở Hình 4b và Hình 4f là mặt cắt ngang tương ứng của hai aerogel CNF/GO/PVA và CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$, cũng quan sát thấy dạng cấu trúc xốp ngẫu nhiên với sự kết hợp giữa các tấm GO và sợi CNF trong cấu trúc của aerogel CNF/GO/PVA, còn aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ thì vẫn cho thấy sự bao phủ bởi các hạt tinh thể $NaHCO_3$ tạo bề mặt nhám và thô ráp hơn.

Từ ảnh chụp kỹ thuật số trong Hình 4d và Hình 4h ta có thể thấy sau khi sấy đông khô các aerogel đều có cấu trúc dạng khối xốp rắn chắc và không có sự co ngót trên bề mặt. Tuy nhiên màu sắc của chúng lại khác nhau, aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ có màu xám sáng hơn do có sự hiện diện của các tinh thể $NaHCO_3$.

Tính chất nhiệt và khả năng chống cháy của các aerogel

Độ ổn định nhiệt của hai mẫu aerogel và $NaHCO_3$ ở Hình 5a và Hình 5b cho thấy hai mẫu aerogel đều thể hiện giai đoạn mất khối lượng bắt đầu xảy ra ở nhiệt độ dưới 150°C do sự bay hơi của nước cũng như là các tạp chất thấp phân tử. Ngoài ra đây cũng được xem là vùng phân hủy nhiệt của muối $NaHCO_3$ tạo thành Na_2CO_3, CO_2 và H_2O từ trước 150°C và kéo dài sau 200°C. Do đó mẫu aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ có khả năng cách nhiệt tốt hơn vì phản ứng này sinh ra hơi nước và khí CO_2 giúp hấp thu nhiệt, làm giảm nhiệt độ xuống. Ngoài ra khi đốt mẫu aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ thì muối $NaHCO_3$ phân hủy sinh ra Na_2CO_3 tạo thành lớp bảo vệ trên bề mặt vật liệu giúp ngăn sự cháy tiếp tục nên mẫu aerogel bền nhiệt hơn.

Aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ có vùng phân hủy khoảng 150°C đến 210°C có thể liên quan đến sự phân hủy của $NaHCO_3$, vùng từ 200°C – 600°C là sự phân hủy của các nhóm chức chứa oxy trên CNF, GO hay PVA và sau 600°C là sự phân hủy của các nhóm chức chứa oxy còn lại cũng như các vòng carbon [16,17]. Aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ có nhiệt bắt đầu phân hủy thấp hơn tuy nhiên khối lượng tro còn lại cao hơn so với aerogel CNF/GO/PVA điều này là do có sự xuất hiện của phụ gia chống cháy $NaHCO_3$.



Hình 4: Ảnh chụp kỹ thuật số (a, d) và ảnh chụp SEM (b, e) mặt cắt dọc, mặt cắt ngang (e, f) của các aerogel.

Bảng 2: Diện tích bề mặt riêng (S_{BET}), đường kính mao quản, mật độ và độ xốp của aerogel CNF/GO/PVA và CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$

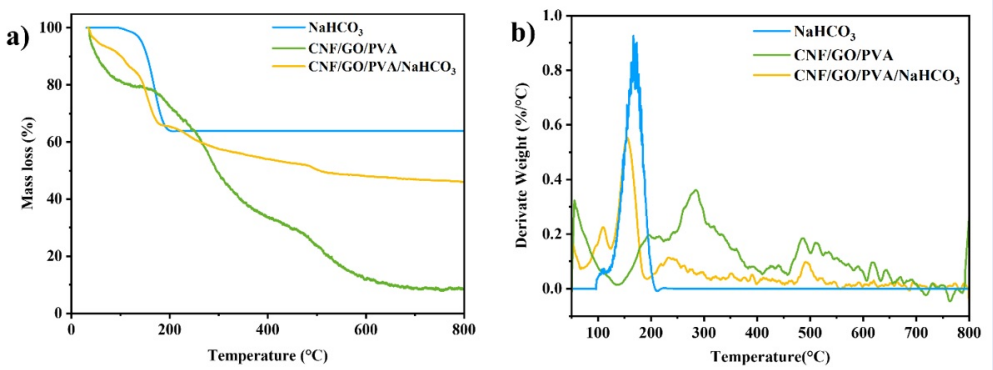
Tên mẫu	Quá trình	SBET (m^2/g)	Đường kính mao quản (Å)	Mật độ (gm^{-3})	Độ xốp (%)
CNF/GO/PVA	Hấp phụ	10,661	40,094	0,0337	97,80
	Giải hấp	15,671	35,175		
CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$	Hấp phụ	44,556	10,270	0,2236	85,92

Đặc tính cách nhiệt của aerogel CNF/GO/PVA và các aerogel có $NaHCO_3$ được thử nghiệm như Hình 6, ta có thể thấy đầu que diêm bắt cháy cực nhanh ở 53s và duy trì sự cháy trong vòng 6s khi không có aerogel. Trong khi đó, aerogel CNF/GO/PVA và các aerogel có $NaHCO_3$ đều có thời gian bắt cháy lâu hơn khoảng hơn 50s. Do đó có thể xem các aerogel này như một lớp cách nhiệt. Ở Hình 6b, aerogel CNF/GO/PVA được đặt giữa tấm nhôm và đầu que diêm, aerogel sau 61s có sự thay đổi màu sắc từ màu nâu sang màu đen và ở 104s đầu que diêm có hiện tượng bốc khói trắng mờ nhưng không có ngọn lửa, khói bốc lên đến giây thứ 180 thì không còn xuất hiện. Trong khi đó, ở aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ sẽ cách nhiệt tốt hơn, cụ thể ở Hình 6c cho thấy sự chuyển đổi màu sắc từ nâu sang đen tại 232s, tiếp tục có khói trắng đến 240s rồi bùng cháy và ngừng cháy ở 245s. Qua đó, thấy được ở aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ truyền nhiệt kém hơn nên que diêm bị lâu đen hơn.

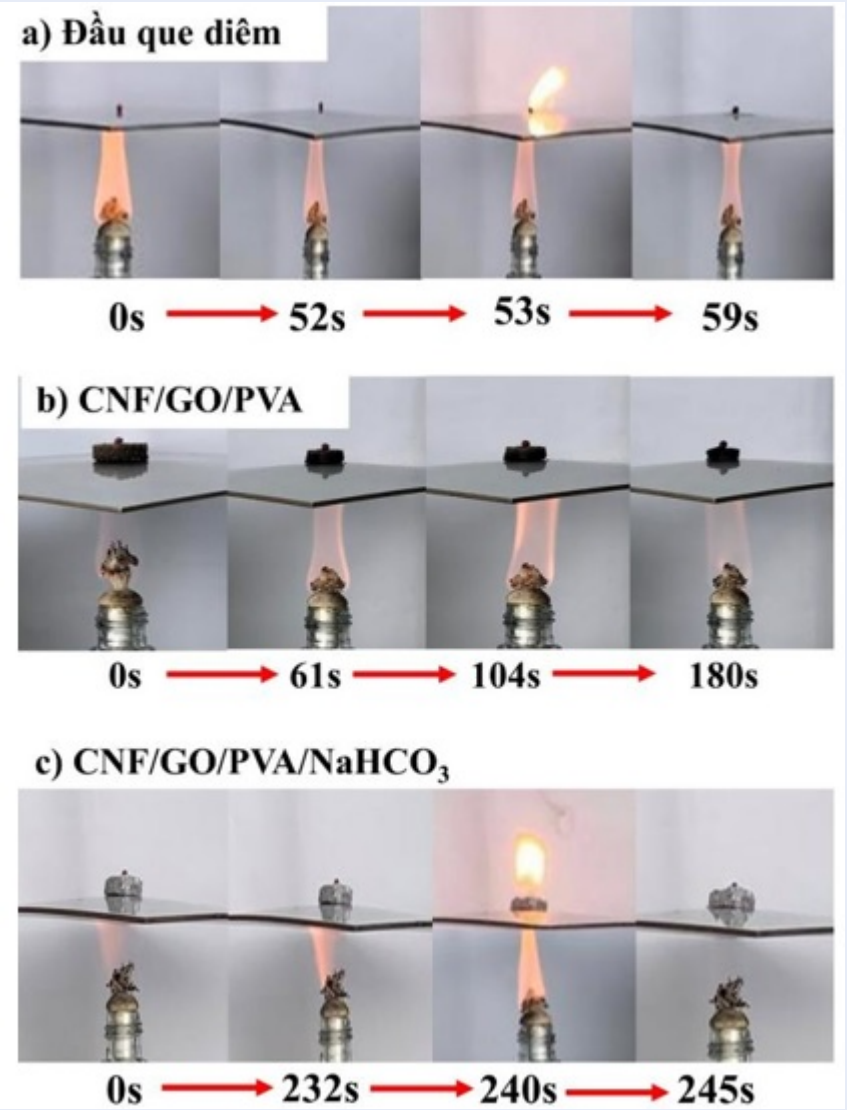
Từ Hình 7a ta có thể thấy rằng aerogel CNF/GO/PVA dễ dàng bắt cháy chỉ sau 1s và cháy hết trong 913s và không còn tro. Trong khi đó aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ có thời gian bắt cháy lâu hơn 25 lần và ngọn lửa sau đó bị dập tắt sau 680s được thể hiện trong Hình 7b. Các kết quả về khả năng chống cháy trên cũng phù hợp với các nghiên cứu đã công bố trước đó.[8–10]

Tính chất cơ lý của các aerogel

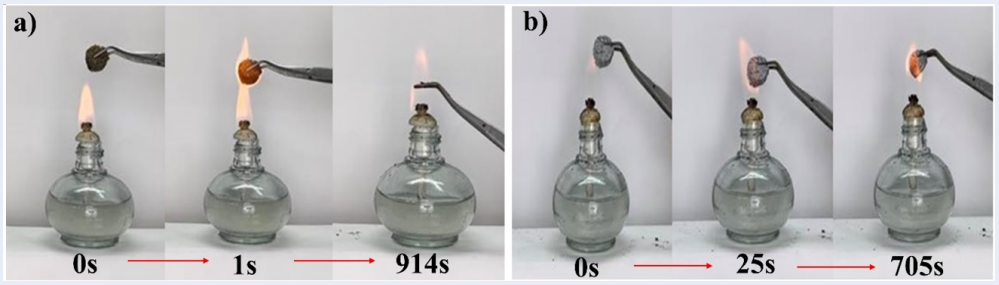
Kết quả đo nén của aerogel CNF/GO/PVA và CNF/GO/PVA/NaHCO3 được thể hiện trong Hình 8 với độ biến dạng 80%, aerogel có phụ gia chống cháy có khả năng chịu nén cao hơn so với khi không có phụ gia với ứng suất cao hơn khoảng 192 lần. Điều này có thể do sự tồn tại của các tinh thể muối vô cơ $NaHCO_3$ có kích thước nhỏ dưới tác dụng của lực nén cơ học theo phương dọc, có thể chúng đã làm cản trở sự phá vỡ cấu trúc bên trong của aerogel dưới ứng suất nén bên ngoài. Kết quả là aerogel CNF/GO/PVA/NaHCO3 có độ bền nén cao hơn aerogel CNF/GO/PVA.



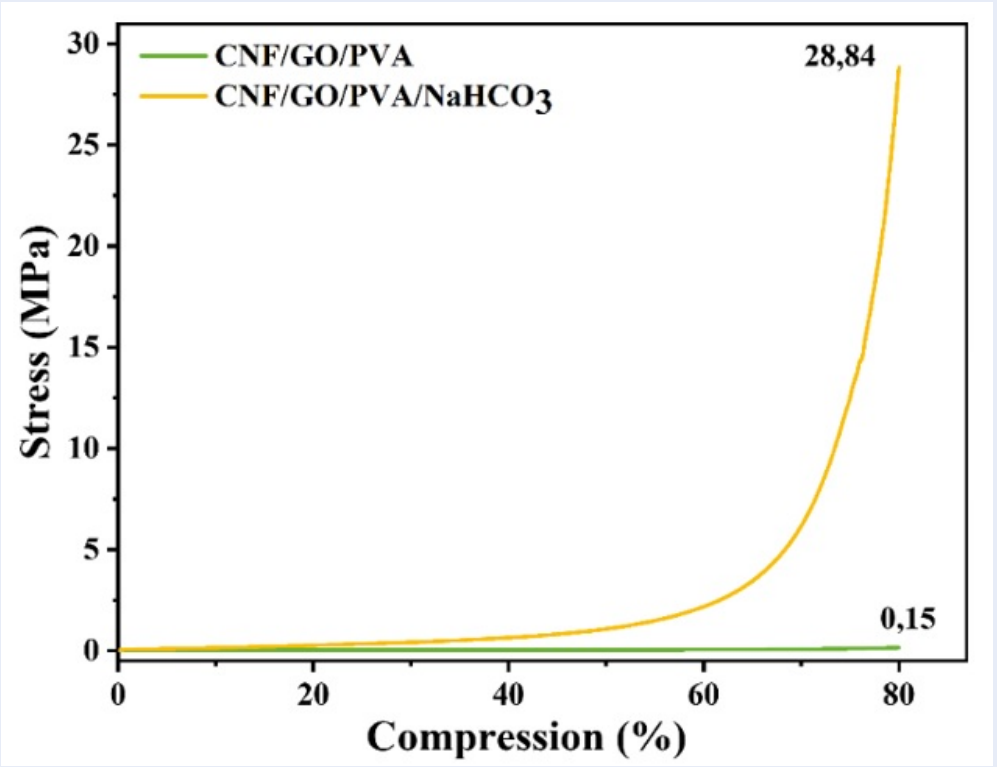
Hình 5: Giản đồ TGA (a) và DTG (b) của các mẫu aerogel.



Hình 6: Thử nghiệm cách nhiệt của đầu diêm (a), aerogel CNF/GO/PVA (b), aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ (c).



Hình 7: Thử nghiệm cháy của aerogel CNF/GO/PVA (a) và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ (b).



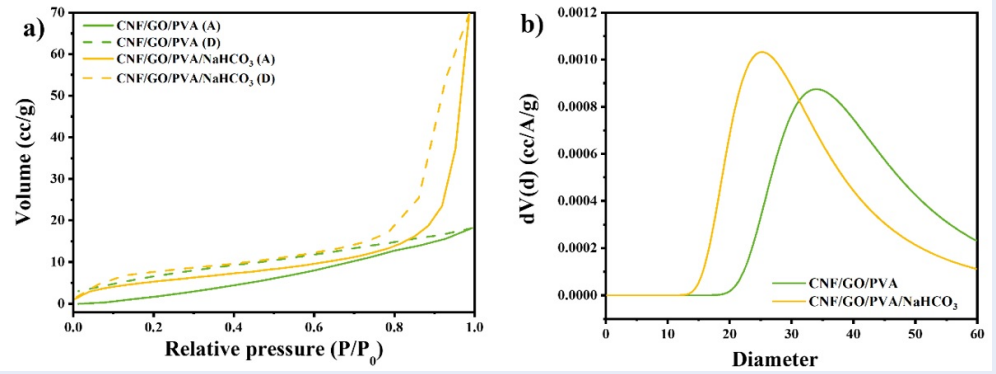
Hình 8: Kết quả đo nén của aerogel CNF/GO/PVA và CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$.

Khả năng hấp phụ đẳng nhiệt N_2 của các aerogel

Đường đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp N_2 thể hiện ở Hình 9a và sự phân bố kích thước lỗ xốp ở Hình 9b của aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$. Đường đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp N_2 của aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ được quy cho đường hấp phụ loại IV theo phân loại của IUPAC đặc trưng cho cấu trúc mao quản trung bình với kích thước nano[18]. Aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ đều cho thấy đường hấp phụ và giải hấp không trùng nhau. Đường đẳng nhiệt của mẫu aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ có độ dốc cao hơn đường đẳng nhiệt của aerogel CNF/GO/PVA, qua đó aerogel có chất chống cháy có khả năng hấp phụ đẳng nhiệt N_2 tốt hơn mẫu aerogel không có chất chống cháy do sự thay đổi trong diện tích bề mặt.

Khả năng xử lý nước nhiễm thuốc nhuộm methylene xanh của các aerogel

Hiệu suất loại bỏ MB trong nước của các aerogel được tính thông qua nồng độ MB được xác định từ đường chuẩn MB (Hình 10a). Từ Hình 10b,

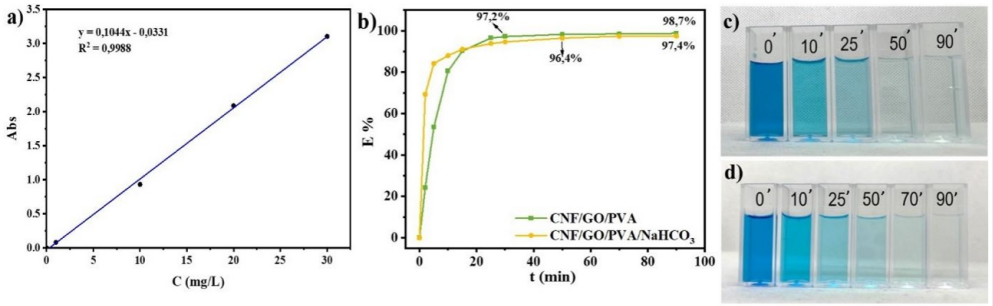


Hình 9: Kết quả đường đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp N_2 (a) và phân bố kích thước lỗ xốp (b) của aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$.

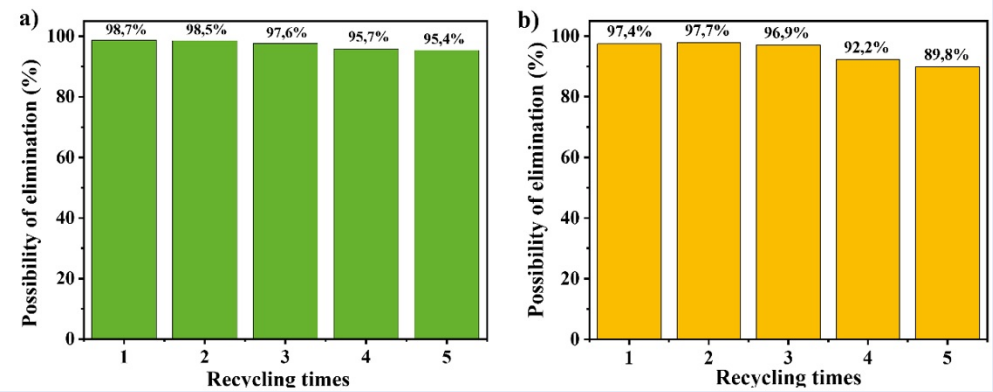
ta có thể thấy rằng tốc độ hấp phụ của aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ nhanh hơn aerogel CNF/GO/PVA trong khoảng thời gian từ 0 phút tới 15 phút đầu tiên và cả hai mẫu aerogel đều đạt được trạng thái cân bằng khi hấp phụ methylene xanh (MB) trong vòng 50 phút. Aerogel CNF/GO/PVA hiệu suất loại bỏ gần như đã đạt bão hòa đạt 97,2% sau 30 phút và đạt cực đại là 98,7% sau 90 phút tương đương dung lượng hấp phụ tối đa là 9,8725 mg/g. Aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ gần như đã đạt bão hòa với hiệu suất loại bỏ đạt 96,4% ở 50 phút và sau 90 phút hiệu suất chỉ tăng lên đạt 97,4% tương đương dung lượng hấp phụ tối đa là 9,7421 mg/g. Việc loại bỏ dần MB ra khỏi mẫu nước bị nhiễm cũng được thể hiện qua sự nhạt dần màu xanh đặc trưng của MB theo thời gian thể hiện như trong Hình 10c. Điều này chứng tỏ rằng cả hai aerogel đều cho kết quả loại bỏ MB với hiệu suất loại bỏ là gần như nhau, trong đó aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ có tốc độ hấp phụ nhanh hơn. Kết quả hấp phụ cũng phù hợp với kết quả thế bề mặt Zeta của aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ có giá trị là −182,7 mV thấp hơn aerogel CNF/GO/PVA có giá trị là −118,1 mV) khi giá trị điện tích bề mặt càng âm (do nhóm chức trên mẫu aerogel mang điện tích anion) thì tốc độ hấp phụ các điện tích cation càng nhanh (MB). Tuy nhiên, hiệu suất loại bỏ MB của aerogel CNF/GO/PVA cao hơn aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ điều này là do đường kính mao quản của aerogel CNF/GO/PVA lớn hơn aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ và hệ thống mao quản của aerogel CNF/GO/PVA không bị che lấp bởi các hạt tinh thể muối $NaHCO_3$ như aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$, cản trở việc phân tán các phân tử MB vào bên trong cấu trúc vật liệu.

Trong aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ có chứa muối $NaHCO_3$ là một muối rất dễ bị thủy phân khi gặp nước tạo muối trung hòa, quá trình này có kèm theo sinh ra khí CO_2 nên rất dễ làm phá vỡ cấu trúc của aerogel tạo thành. Do đó để khảo sát khả năng tái sử dụng của hai aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ chúng tôi tiến hành cho hai aerogel hấp phụ thông qua túi lọc từ vải không dệt. Thí nghiệm tiến hành trong 5 chu kì hấp và giải hấp trên hai aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ trên dung dịch MB 20 ppm ở nhiệt độ phòng. Quá trình thí nghiệm được tiến hành với sự ảnh hưởng của các yếu tố như nhiệt độ và sự hấp phụ của túi vải không dệt rất ít, khối lượng của aerogel và túi lọc gần như không thay đổi trước mỗi chu kỳ hấp phụ và giải hấp phụ MB. Hình 11a, cho thấy hiệu suất loại bỏ MB chu kì đầu tiên của aerogel CNF/GO/PVA là 98,7%, lần hai là 98,5% và sau năm lần hấp phụ - giải hấp thì hiệu suất ở lần thứ năm còn 95,4%. Hình 11b, cho thấy hiệu suất loại bỏ ở chu kì đầu tiên của aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ là 97,4% và sau năm lần hấp phụ - giải hấp thì hiệu suất ở lần thứ năm còn 89,8%. Điều này cho thấy có sự giảm nhẹ trong hiệu quả loại bỏ MB khoảng 3,4% cho aerogel CNF/GO/PVA và 7,5% cho aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ sau năm lần hấp phụ và giải hấp. Như vậy, việc cho thêm chất chống cháy $NaHCO_3$ có làm giảm nhẹ khả năng tái sử dụng để loại bỏ MB của aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$.

Từ Hình 12a,b, aerogel CNF/GO/PVA cho thấy kết quả tính toán từ mô hình động học biểu kiến bậc hai có giá trị tính toán (q_e = 10,6157 mg/g) và giá trị tương quan (R^2 = 0,9958) phù hợp với kết quả thực nghiệm hơn mô hình động học biểu kiến bậc một (Bảng 3). Aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ cho thấy rằng kết quả tính toán từ mô hình động học biểu kiến bậc hai có giá trị tính toán (q_e = 9,8522 mg/g) và giá trị tương quan (R^2 = 0,9999) phù hợp với kết



Hình 10: Đường chuẩn MB (a), khả năng loại bỏ MB ( ), sự thay đổi màu sắc nước nhiễm MB của aerogel CNF/GO/PVA (c) và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ theo thời gian (phút) (d).



Hình 11: Sơ đồ biểu diễn khả năng loại bỏ MB của aerogel CNF/GO/PVA (a) và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ (b) sau năm chu kì tái sử dụng.

quả thực nghiệm hơn. Vì thế mô hình động học biểu kiến bậc hai phù hợp hơn với sự hấp phụ loại bỏ MB trong nước của cả aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$. Điều này cho thấy rằng sự hấp phụ thuốc nhuộm được kiểm soát bởi bước xác định tốc độ, bên cạnh đó nó còn cho thấy cơ chế hấp phụ vật lý của cả hai aerogel đều dựa trên tương tác tĩnh điện giữa các cation của thuốc nhuộm MB với các nhóm chức mang điện tích anion trên aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$. Aerogel chống cháy CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ cho thấy những tiềm năng trong việc ứng dụng làm vật liệu hấp phụ có độ ổn định nhiệt cao.

KẾT LUẬN

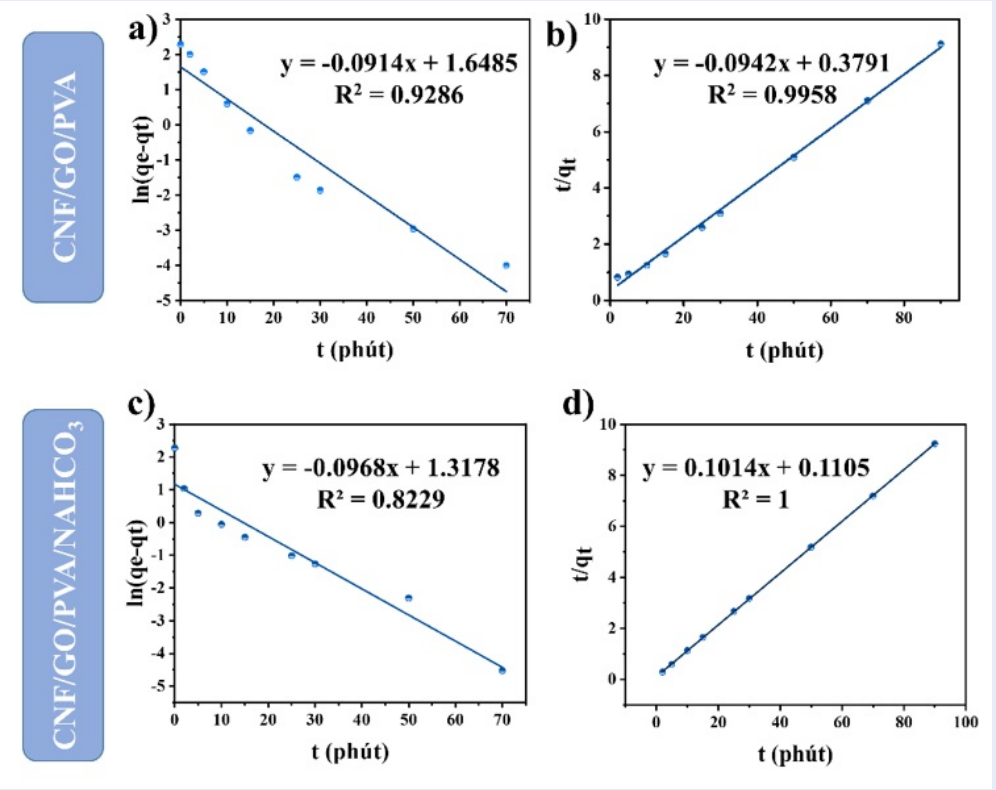
Aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ tạo thành có sự có mặt $NaHCO_3$ cho thấy những cải thiện trong tính chất nhiệt và khả năng chống cháy với thời gian bắt cháy lâu hơn 25 lần. Ngoài ra, aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ có thể chịu nén cao hơn khoảng 192 lần so với aerogel CNF/GO/PVA. Đồng thời, khả năng loại bỏ thuốc nhuộm methylene xanh của aerogel nanocellulose và graphene oxide gần như không thay đổi khi có thêm $NaHCO_3$, với phần trăm loại bỏ và liều hấp phụ của hai aerogel là gần như nhau. Hiệu suất hấp phụ của CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ vẫn duy trì ở mức hơn 95,4% sau 5 chu kì hấp và giải hấp thuốc nhuộm methylene xanh. Nghiên cứu đã mở ra thêm khả năng tái chế bằng phương pháp nhiệt cho aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ trong lĩnh vực hấp phụ xử lý vấn đề ô nhiễm nguồn nước hiện nay.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan không có bất kì xung đột lợi ích khi công bố bài báo cáo.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Khổng Bảo Duy, Dương Thụy Trúc Hân và Lý Hiểu Phương cùng thực hiện các thí nghiệm chế tạo, phân tích kết quả, viết bản thảo và hoàn thiện bài báo. Nguyễn Tường Vy định hướng nghiên cứu và thảo



Hình 12: Mô hình động học giả bậc một (a,c) và mô hình động học giả bậc hai (b,d) của aerogel CNF/GO/PVA và aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$ hấp phụ MB.

Bảng 3: Bảng thông số động hấp phụ MB của aerogel CNF/GO/PVA/$NaHCO_3$

Mẫu	Phương trình động học biểu kiến bậc một				Phương trình động học biểu kiến bậc hai			
	q_e thực nghiệm (mg/g)	q_e đồ thị (mg/g)	K_1 (ph^{-1})	R^2	q_e thực nghiệm (mg/g)	q_e đồ thị (mg/g)	K_1 (ph^{-1})	R^2
CNF/GO/P	9,8725	5,1992	0,0914	0,9286	9,8725	10.6157	0,0234	0,9958
CNF/GO/P	9,7421	3,2111	0,0798	0,9309	9,7421	9.8522	0,0938	0,9999

luận chuyên môn trong quá trình nghiên cứu, viết bản thảo và hoàn thiện bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Oladoye PO, Ajiboye TO, Omotola EO, Oyewola OJ. Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. Results in Engineering. 2022;16:100678;Available from: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678.
2. Zhang Z, Yuan T, Miao Y, Liu Q, Mu J, Yao C. Carboxyl-functionalized graphene oxide/cellulose nanofiber as adsorbents toward methylene blue. Chem Phys Let. 2024;837:141064;Available from: https://doi.org/10.1016/j.cplett.2024.141064.
3. Yan C, Wu F, Zhou X, Luo J, Jiang K. Superadsorbent aerogel based on sunflower stem pith cellulose and layered double hydroxides modified montmorillonite for methylene blue removal from water solution. Int J Bio Macromol. 2024;257:128749;Available from: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128749.
4. Mi H-Y, Jing X, Politowicz AL, Chen E, Huang H-X, Turng L-S. Highly compressible ultra-light anisotropic cellulose/graphene aerogel fabricated by bidirectional freeze drying for selective oil absorption. Carbon. 2018;132:199-209;Available from: https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.02.033.
5. El Kaim Billah R, Islam MA, Nazal MK, Bahsis L, Soufiane A, Abdellaoui Y, et al. A novel glutaraldehyde cross-linked chitosan@acid-activated bentonite composite for effectivePb (II) and Cr (VI) adsorption: Experimental and theoretical studies. Sep Purif Technol. 2024;334:126094;Available from: https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.126094.
6. Liu C, Huang C, Li Y, Liu Y, Bian H, Xiang Z, et al. Freeze-casting production of thermal insulating and fire-retardant lightweight aerogels based on nanocellulose and boron ni-

tride. Int J Bio Macromol. 2023;252:126370;Available from: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126370.
7. Nguyen VT, Ha LQ, Nguyen TDL, Ly PH, Nguyen DM, Hoang D. Nanocellulose and Graphene Oxide Aerogels for Adsorption and Removal Methylene Blue from an Aqueous Environment. ACS Omega. 2022;7(1):1003-13;Available from: https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05586.
8. Chengran Cao, Bihe Yuan. Thermally induced fire early warning aerogel with efficient thermal isolation and flame-retardant properties. Polym adv technol.2021;32:2159-2168;Available from: https://doi.org/10.1002/pat.5246.
9. Hualing He, Yushu Wang, Zhicai Yu, Jinru Liu, Yuhang Zhao, Yushi Ke. Ecofriendly flame-retardant composite aerogel derived from polysaccharide: Preparation, flammability, thermal kinetics, and mechanism. Cacbohydr Polym. 2021;269:118291;Available from: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118291.
10. Muhammad Farooq, Mika H. Sipponen, Ari Seppälä, and Monika Österberg. Eco-friendly Flame-Retardant Cellulose Nanofibril Aerogels by Incorporating Sodium Bicarbonate. ACS Appl Mater Interfaces.2018;10:27407-27415;Available from: https://doi.org/10.1021/acsami.8b04376.
11. Alkhouzaam A, Qiblawey H, Khraisheh M, Atieh M, Al-Ghouti M. Synthesis of graphene oxides particle of high oxidation degree using a modified Hummers method. Ceram Int. 2020;46(15):23997-4007;Available from: https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.06.177.
12. Li J, Alamdari NE, Aksoy B, Parit M, Jiang Z. Integrated enzyme hydrolysis assisted cellulose nanofibril (CNF) fabrication: A sustainable approach to paper mill sludge (PMS) management. Chemosphere. 2023;334:138966;Available from: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138966.
13. Zhao J, Yuan X, Wu X, Liu L, Guo H, Xu K, et al. Preparation of Nanocellulose-Based Aerogel and Its Research Progress in Wastewater Treatment. Molecules. 2023;28(8):3541;Available from: https://doi.org/10.3390/molecules28083541.
14. Zhao H., Su P, Xu M, Wang C, Li Y. Macromolecule crosslinked composite PVA membranes for pervaporation desalination. Desalination. 2024;573:117211;Available from: https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.117211.
15. Zhou T, Cheng X, Pan Y, Li C, Gong L. Mechanical performance and thermal stability of polyvinyl alcohol-cellulose aerogels by freeze drying. Cellulose. 2019;26(3):1747-55;Available from: https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.12.146.
16. Jin Y, Huang S, Zhang M, Jia M, Hu D, A green and efficient method to produce graphene for electrochemical capacitors from graphene oxide using sodium carbonate as a reducing agent, Appl Surf Sci, 2013;268:541-46;Available from: https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.01.004.
17. Chaiwang P, Chalermsinsuwan B, Piumsomboon P, Thermogravimetric Analysis and Chemical Kinetic for Regeneration of Sodium Carbonate Solid Sorbent, Adv Mater Res, 2015;1101:40-5;Available from: https://doi.org/10.1080/00986445.2015.1078796.
18. Teng R, Shi D, Pan Y, Jiang J, Song H, Tan W. Synthesis of mesoporous MIL-100(Fe) from acid mine drainage sludge for norfloxacin removal: Industrial sludge high value utilization, adsorbent performance and contaminant removal mechanisms. Colloids Surf A: Physicochem Eng Asp, 2024;684:133032;Available from: https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.133032.

Science & Technology Development Journal – Natural Sciences 2024, 8(3):3063-3075

Open Access Full Text Article

Research Article

Improving thermal properties and flame characteristics of aerogel from nanocellulose and graphene oxide by sodium bicarbonate

Khong Bao Duy, Duong Thuy Truc Han, Ly Hieu Phuong, Nguyen Tuong Vy*

ABSTRACT

In this study, an environmentally friendly aerogel derived from nanocellulose fibers (CNF) combined with graphene oxide (GO), polyvinyl alcohol (PVA), and sodium bicarbonate (NaHCO3) was synthesized with the aim of improving the thermal properties and flame characteristics of aerogels made from nanocellulose and graphene oxide. Aerogel obtained by freeze-drying technique has a low density (0.2236 g/cm^3), a high porosity of 85.92%, a specific surface area when adsorbing and desorbing nitrogen gas is approximately 44.6 m^2/g and 67.05 m^2/g, respectively. Additionally, the resulting aerogel was structurally analyzed using X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and scanning electron microscopy (SEM). The research shows that the presence of NaHCO3, a green and low-cost flame retardant additive, has significantly improved the thermal stability and flammability of the nanocellulose-based aerogels. In addition, the presence of this flame retardant additive has almost no effect on the MB adsorption and removal ability of the resulting aerogel, with the removal efficiency remaining stable at over 95% after 5 reuse cycles. The results show that the CNF/GO/PVA/NaHCO3 aerogel is a lightweight material with low density and a large surface area, making it favorable for adsorption applications in environmental treatment. Additionally, the CNF/GO/PVA/NaHCO3 aerogel has significantly improved in thermal stability, which opens up new possibilities for the thermal recycling of this adsorbent.

Key words: Aerogel, adsorbent, flame retardant additive, eco-friendly, wastewater treatment

Faculty of Materials Science and Technology, University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Nguyen Tuong Vy, Faculty of Materials Science and Technology, University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: ntvy@hcmus.edu.vn

History

- Received: 31-01-2024
- Revised: 13-6-2024
- Accepted: 19-9-2024
- Published Online: 30-9-2024

DOI : https://doi.org/10.32508/stdjns.v8i3.1368

Check for updates

Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

VNUHCM PRESS

Cite this article : Duy K B, Han D T T, Phuong L H, Vy N T. **Improving thermal properties and flame characteristics of aerogel from nanocellulose and graphene oxide by sodium bicarbonate**. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.* 2024, 8(3):3063-3075.