

# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG HẤP PHỤ ASEN CỦA MÀNG SỢI POLY (VINYLDIENE FLUORIDE)/ GRAPHENE OXIDE

RESEARCH ON FABRICATION AND ARSENIC ADSORPTION  
OF POLY (VINYLDIENE FLUORIDE)/GRAPHENE OXIDE NANOFIBER MATS

Nguyễn Thị Thu Thủy<sup>1,\*</sup>, Phan Đình Huân<sup>2</sup>, Trịnh Thị Hải<sup>1</sup>

## TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, màng sợi poly (vinylidene fluoride) (PVDF) có chứa graphene oxide (GO) được chế tạo bằng phương pháp kéo sợi điện trường quay. Đặc trưng hình thái học và đặc trưng hóa học của màng sợi PVDF/GO được kiểm tra dựa trên ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR). Kết quả cho thấy, sợi PVDF chứa 2% khối lượng GO có đường kính trong khoảng  $3 \div 3,5\mu\text{m}$ , bề mặt sợi không nhẵn mịn mà hình thành các mao quản nhỏ. Tính chất cơ lý của màng sợi PVDF/GO (2 wt%) được đánh giá bằng độ bền kéo đứt (đạt 3,24MPa) và độ giãn dài khi đứt (đạt 28,55%). Khảo sát khả năng hấp phụ của màng sợi với  $\text{As}^{5+}$  trong dung dịch nước cho thấy dung lượng hấp phụ  $\text{As}^{5+}$  trên 1g màng sợi PVDF/GO (2 wt%) tăng theo nồng độ  $\text{As}^{5+}$  trong dung dịch. Khi nồng độ dung dịch  $\text{As}^{5+}$  là 1000 $\mu\text{g/l}$  thì khả năng hấp phụ đạt 474,97 $\mu\text{g As}^{5+}/\text{g}$  màng sợi. Điều này cho thấy được khả năng ứng dụng của màng sợi PVDF/GO (2 wt%) trong việc xử lý các nguồn nước nhiễm asen ở các khu vực của Việt Nam.

**Từ khóa:** Sợi nano, electrospinning, graphene oxide, hấp phụ asen.

## ABSTRACT

In this study, poly (vinylidene fluoride) (PVDF) nanofiber mats containing graphene oxide was fabricated by electrospinning method. Characteristics of morphology and chemistry of PVDF/GO nanofiber mats were examined by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, respectively. These results show that PVDF nanofibers containing 2 wt% GO had diameter in range of  $3.0 \div 3.5\mu\text{m}$  with rough surface. Mechanical properties of PVDF/GO (2 wt%) were characterized by tensile strength of 3,24 MPa and elongation of 28,55%. Capacity of arsenic adsorption of PVDF/GO (2 wt%) was carried out with different  $\text{As}^{5+}$  concentrations. It was shown that increase of  $\text{As}^{5+}$  concentration led to increasing adsorption efficiency. When the concentration of  $\text{As}^{5+}$  solution was 1000 $\mu\text{g/l}$ , 1g of the PVDF/GO (2 wt%) nanofiber mat would adsorb 474,97 $\mu\text{g As}^{5+}$ . From these results, the prepared PVDF/GO nanofiber mats have shown a great potential to remove arsenic in water resource containing arsenic in Vietnam.

**Keywords:** Nanofibers, electrospinning, graphene oxide, arsenic adsorption.

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

<sup>2</sup>Trung tâm phân tích thí nghiệm, Liên đoàn Bản đồ địa chất miền Bắc

\*Email: nt.thuy82@gmail.com

Ngày nhận bài: 14/01/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2019

## 1. GIỚI THIỆU

Trong tự nhiên, asen là thành phần của lớp trầm tích vỏ trái đất nên thường có mặt trong tầng nước ngầm và nước bề mặt ở hàm lượng thấp. Tuy nhiên, ở một số khu vực do lớp trầm tích có cấu trúc, thành phần hóa học thuận lợi cho việc hòa tan asen từ đất nên hàm lượng asen trong nước ngầm rất cao. Ô nhiễm asen trong nước ngầm đã được phát hiện ở nhiều nước trên thế giới như Trung Quốc, Việt Nam, Chile, Campuchia... Theo báo cáo quốc gia về môi trường đô thị năm 2017 của Bộ Tài nguyên và Môi trường thì riêng ở Hà Nội, qua kiểm tra lấy mẫu định kỳ về ô nhiễm asen tại 34 điểm là các hộ dân sống gần 13 nhà máy nước chính và 4 trạm cấp nước đang hoạt động trên địa bàn thành phố thì có 46% các địa điểm lấy mẫu có hàm lượng asen liên tục vượt quá tiêu chuẩn cho phép của WHO và tiêu chuẩn Việt Nam [1]. Nếu sử dụng nước nhiễm asen để uống sẽ gây ngộ độc mạn tính về lâu dài sẽ dẫn đến gây hoại tử, rối loạn sắc tố da, thậm chí liên quan đến bệnh tiểu đường, tim mạch, ung thư bàng quang, ung thư gan. Do đó, cần phải loại bỏ asen khỏi các nguồn nước đến giới hạn cho phép trước khi được sử dụng cho sinh hoạt. Theo QCVN 02:2009/BYT về chất lượng nước sinh hoạt thì giới hạn tối đa cho phép của hàm lượng asen tổng là 0,01 ppm đối với các cơ sở cung cấp nước và 0,05 đối với các hình thức khai thác nước của hộ gia đình.

Hiện nay có nhiều phương pháp xử lý nước nhiễm kim loại nặng trong nước như phương pháp kết tủa, hấp phụ, trao đổi ion, điện hóa, sinh học, sử dụng màng lọc... Tuy nhiên hiệu quả của từng phương pháp còn phụ thuộc vào nồng độ kim loại nặng trong nước cần xử lý. Trong số các phương pháp kể trên, hấp phụ là phương pháp được sử dụng phổ biến do dễ hoạt động, hiệu quả cao và giá thành thấp. Gần đây, các vật liệu sử dụng cho kỹ thuật hấp phụ loại bỏ ion kim loại được chú ý đến là các oxit kim loại kích thước nano, ống nano cacbon, dẫn xuất của graphene như graphene oxide (GO). GO có nhiều ưu điểm như diện tích bề mặt riêng lớn (2630 m<sup>2</sup>/g) [2], tính chất hóa học ổn định và có khả năng tái sinh. Đặc biệt GO sở hữu nhiều nhóm chức trên bề mặt, khả năng phân tán tốt trong nước nên đã

được nhiều nhóm nghiên cứu làm chất hấp phụ để loại bỏ thuốc nhuộm, cation kim loại, phân tử sinh học và được phẩm từ nước bị ô nhiễm. Wu và cộng sự [3] đã thử nghiệm khả năng hấp phụ của GO đối với dung dịch  $\text{Cu}^{2+}$  ở nồng độ 1 mg/ml. Kết quả cho thấy dung lượng hấp phụ cực đại đạt 117,5 mg/g tại pH bằng 5,3 và thời gian tiếp xúc cân bằng là 150 phút. Nhóm tác giả Nguyễn Hữu Hiếu [4] đã tổng hợp nanocomposite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  theo phương pháp phối trộn huyền phù. Theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir thì dung lượng hấp phụ cực đại của vật liệu này đối với  $\text{Pb}^{2+}$  là 54,64 mg/g.

Trong nghiên cứu này, GO được mang trên các sợi poly (vinylidene fluoride) (PVDF) được chế tạo bằng phương pháp kéo sợi điện trường quay. Phương pháp này cho phép tạo ra các màng sợi với kích thước sợi nhỏ (vài nano mét đến vài micro mét), diện tích bề mặt riêng lớn, độ xốp lớn, kích thước mao quản hẹp. GO được phân tán trên sợi PVDF giúp làm tăng khả năng tiếp xúc của GO với môi trường và thu hồi dễ dàng sau khi sử dụng. Hệ thống kéo sợi điện trường quay bao gồm một xy lanh chứa dung dịch polyme có gắn với kim phun được nối với điện áp cao và bộ thu sản phẩm được nối với đất. Dung dịch trong xy lanh được bơm liên tục với tốc độ thấp sẽ tạo thành giọt dung dịch hình bán cầu ở đầu kim phun và chuyển thành nón Taylor khi điện áp cao được áp đặt vào. Ở một điện áp tối ưu, lực điện trường sinh ra giữa đầu kim phun và bộ thu sản phẩm thắng được sức căng bề mặt của giọt dung dịch tạo thành dòng polime di chuyển đến bộ thu sản phẩm. Trong quá trình di chuyển dòng polime trải qua giai đoạn bất ổn định, dần dài và bay hơi dung môi. Kết quả là các sợi nano polime tập trung và thu được ở bộ thu sản phẩm. Các thông số hệ thống ảnh hưởng đến quá trình bao gồm khối lượng phân tử polime, độ nhớt, độ dẫn điện, sức căng bề mặt và hằng số điện môi. Ngoài ra còn có ảnh hưởng của các thông số quá trình như điện áp, tốc độ cấp liệu và khoảng cách từ đầu kim phun đến bộ thu sản phẩm [5,6].

Màng sợi PVDF/GO được xác định đặc trưng hình thái bằng ảnh SEM và đặc trưng hóa học bằng phổ FTIR. Tính chất cơ lý của màng được đánh giá bằng cường độ chịu nén và độ giãn dài khi đứt. Khả năng hấp phụ của màng sợi PVDF/GO đối với  $\text{As}^{5+}$  được khảo sát theo thời gian và theo nồng độ dung dịch  $\text{As}^{5+}$ .

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Nguyên vật liệu

Graphit (tinh khiết 99,99%, Hàn Quốc), Polyvinylidene flouride (Kynar@761, Hàn Quốc), dimethylformamide (Trung Quốc), axetone (Trung Quốc), dung dịch chuẩn As(V) 1000 ppm (Merk).

### 2.2. Phương pháp tổng hợp

#### 2.1.1. Tổng hợp GO từ graphit

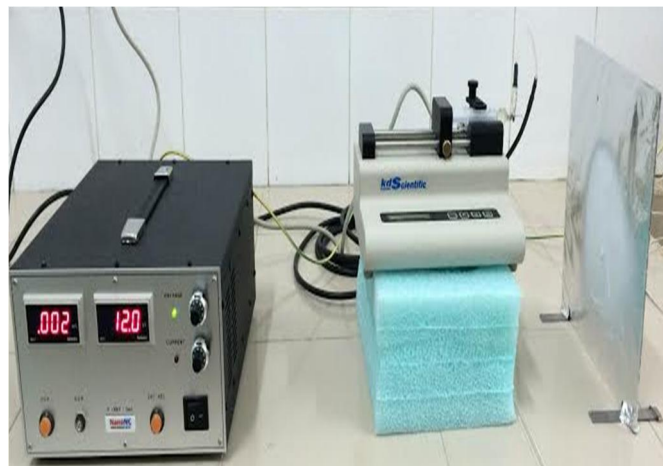
GO được tổng hợp từ graphit bằng phương pháp Hummer biến tính theo qui trình trong [7].

#### 2.1.2. Chế tạo màng sợi PVDF/GO

Cân khối lượng PVDF và bổ sung dung môi là hỗn hợp của DMF/acetone tỉ lệ 3/1 sao cho thu được dung dịch polyme có nồng độ 15% khối lượng. Thêm 2% khối lượng

của GO so với PVDF vào hỗn hợp rồi tiến hành khuấy trộn trên máy khuấy từ có gia nhiệt đến khoảng  $60^\circ\text{C}$  để tạo thành hỗn hợp đồng nhất. Tiếp tục rung siêu âm hỗn hợp trong bể siêu âm bằng nước trong 20 phút để giúp GO phân tán đồng đều trong dung dịch PVDF.

Hệ thống kéo sợi điện trường quay được lắp đặt như hình 1. Cho dung dịch PVDF/GO chuẩn bị ở bước trên vào xy lanh nhựa dung tích 10ml. Đầu xy lanh được lắp với kim phun bằng kim loại có đường kính 22 gauss. Đặt xy lanh lên bơm và điều chỉnh bơm với tốc độ 1ml/h. Nối kim phun với nguồn cung cấp điện áp 8kV. Đặt tấm thu sản phẩm sao cho khoảng cách từ đầu kim phun đến bộ thu sản phẩm là 13cm.



Hình 1. Hệ thống kéo sợi điện trường quay

### 2.3. Phân tích các tính chất hóa lý của vật liệu

Hình thái sợi PVDF/GO được xác định bằng ảnh SEM chụp tại Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam trên máy SM-6510LV - Jeol - Nhật Bản.

Đặc trưng hóa học của màng sợi được xác định bằng phổ Hồng ngoại biến đổi Fourier sử dụng thiết bị Shimadzu FTIR Afinity 1S tại Khoa Hóa học, trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

Độ bền cơ học của màng sợi bao gồm độ bền kéo và độ giãn dài khi đứt được xác định trên máy Zwick Z2.5 của Đài Loan, tại Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, theo tiêu chuẩn ISO/DIN 527-1 với tốc độ kéo 5 mm/phút, ở  $25^\circ\text{C}$ .

Nồng độ dung dịch  $\text{As}^{5+}$  được đo trên máy quang phổ AAS 630 Shimadzu - Nhật Bản, tại Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

### 2.4. Đánh giá khả năng hấp phụ $\text{As}^{5+}$ của màng sợi PVDF/GO

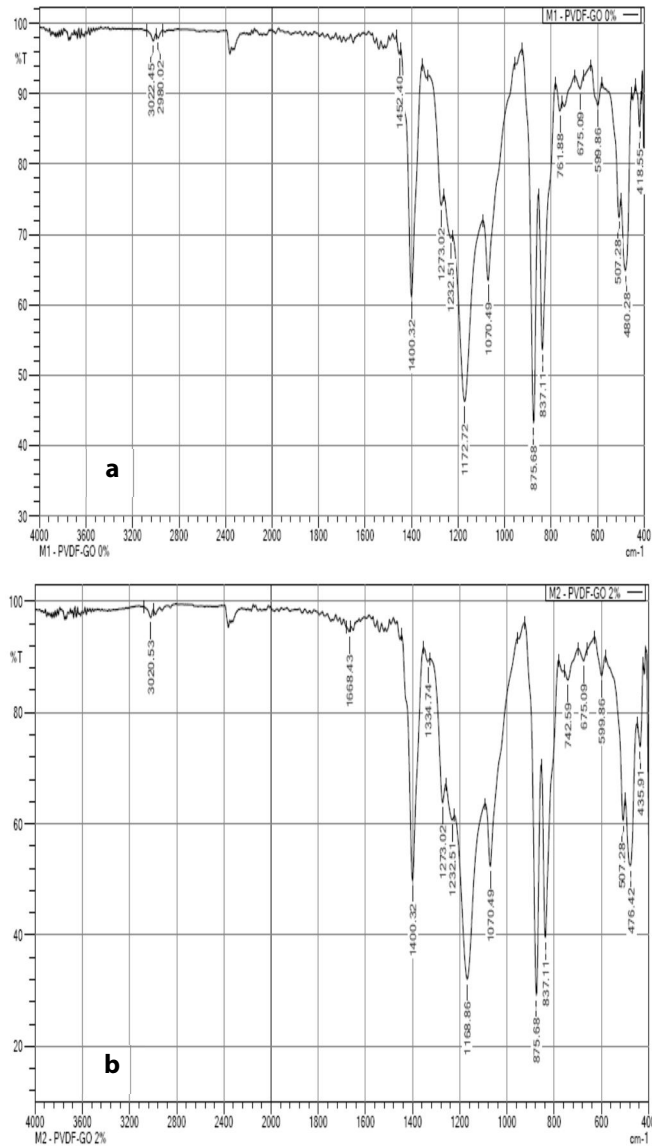
Khả năng hấp phụ của màng sợi đối với ion  $\text{As}^{5+}$  được thực hiện dựa trên các thông số bao gồm thời gian hấp phụ (từ 20 phút đến 90 phút) và nồng độ ban đầu của  $\text{As}^{5+}$  (từ 0,1 đến 0,7mg/l).

Cân chính xác 0,1g màng sợi PVDF/GO cho vào cốc đựng 50ml dung dịch  $\text{As}^{5+}$  đã chuẩn bị theo đúng nồng độ khảo sát và trong các khoảng thời gian khác nhau. Nồng độ của  $\text{As}^{5+}$  trong dung dịch sau khi hấp phụ được đo bằng phương pháp AAS.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc trưng hóa học của màng sợi PVDF/GO

Phổ FTIR của màng sợi PVDF và PVDF/GO (2 wt%) được thể hiện trên hình 2.

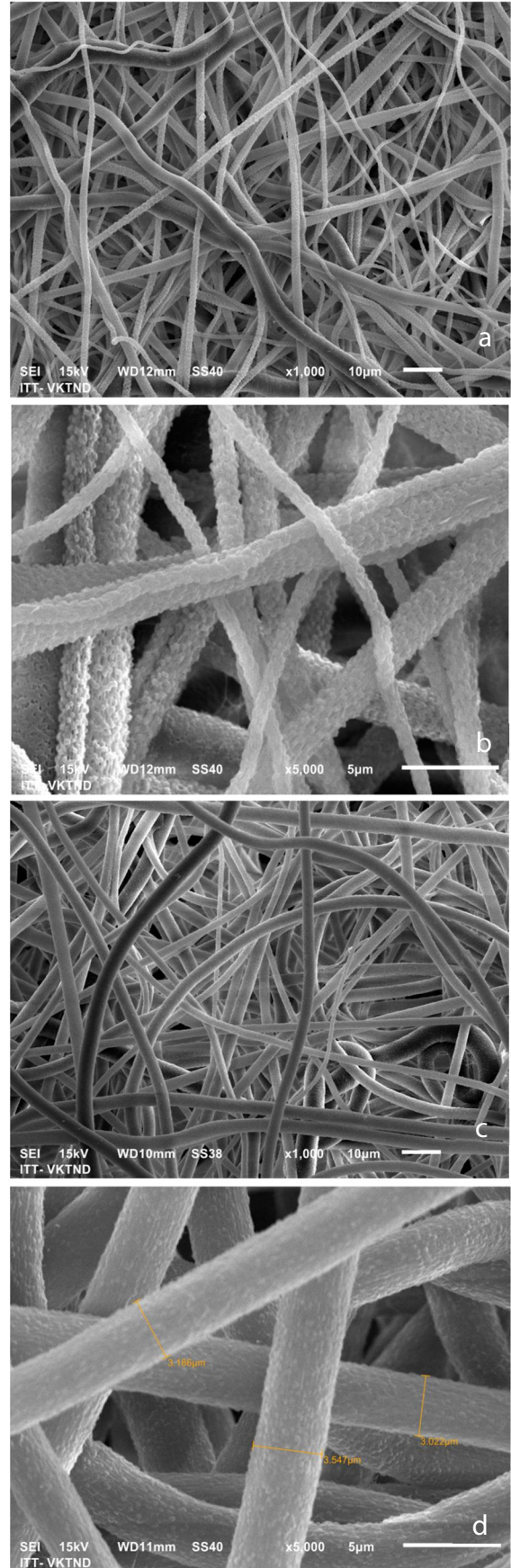


Hình 2. Phổ FTIR của màng sợi (a) PVDF và (b) PVDF/GO (2 wt%)

Phổ FTIR của màng sợi PVDF (hình 2a) xuất hiện các pic đặc trưng với cường độ mạnh cho dao động của nhóm CH<sub>2</sub> và CF<sub>2</sub> tại các số sóng 1400,32cm<sup>-1</sup>; 1172,72cm<sup>-1</sup> và 875,68cm<sup>-1</sup>. Trên phổ FTIR của màng sợi PVDF/GO (2 wt%) cũng chỉ xuất hiện các pic này mà không thấy xuất hiện các pic đặc trưng cho dao động của các nhóm chức của GO. Điều này cho thấy rằng, GO bị che phủ bởi chính PVDF trong composit nên lượng GO nằm trên bề mặt sợi khó bị phát hiện do giới hạn độ nhạy của thiết bị phân tích FTIR.

3.2. Hình thái của màng sợi PVDF/GO (2 wt%)

Hình thái sợi bao gồm hình dạng sợi, kích thước sợi và bề mặt sợi của sợi PVDF và PVDF/GO (2 wt%) được quan sát bằng ảnh SEM (hình 3).



Hình 3. Ảnh SEM của màng sợi (a, b) PVDF; (c, d) PVDF/GO (2 wt%)

Quan sát hình thái các sợi PVDF, PVDF/GO (2 wt%) ta thấy rằng, sợi composit có đường kính sợi to hơn và phân bố đường kính sợi đồng đều hơn so với sợi PVDF. Các sợi composit có đường kính trong khoảng 3,0 $\mu$ m đến 3,5 $\mu$ m. Điều này cho thấy, sự có mặt của GO trong dung dịch PVDF có thể dẫn đến sự thay đổi khả năng dẫn điện và độ nhớt của dung dịch PVDF, từ đó ảnh hưởng đến quá trình tạo sợi của dung dịch này.

Đặc biệt, bề mặt của các sợi PVDF và PVDF/GO 2% đều không nhẵn mịn mà xù xì, hình thành các mao quản nhỏ trên bề mặt sợi. Cấu trúc này được gọi là cấu trúc mao quản bề mặt. Hiện tượng này xảy ra là do sự phân tách pha trong quá trình bay hơi chuyển từ dung dịch về trạng thái sợi rắn dưới ảnh hưởng của loại dung môi sử dụng và độ ẩm của môi trường [8, 9]. Hệ dung môi được sử dụng là hỗn hợp của một dung môi dễ bay hơi (axeton) và một dung môi khó bay hơi (DMF) trong điều kiện độ ẩm cao (trên 70%). Sự phân tách pha xảy ra bởi sự làm lạnh do bay hơi và sự tăng dần nồng độ dung dịch polime khi dòng dung dịch di chuyển từ đầu kim phun đến bộ thu. Một pha chủ yếu nằm trên bề mặt dòng dung dịch khô nhanh và ổn định tạo lớp mao quản bên ngoài, còn một pha nằm trong dòng dung dịch đông rắn sau cùng tạo khối lõi của sợi. Sự làm lạnh do bay hơi của dòng dung dịch cũng dẫn đến hơi nước trong không khí ngưng tụ thành giọt trên bề mặt sợi. Khi sợi khô, những giọt này bay hơi và để lại mao quản trên bề mặt sợi. Sự hình thành mao quản trên bề mặt sợi làm tăng diện tích bề mặt của màng sợi và từ đó có thể làm tăng khả năng hấp phụ arsen của màng sợi composit.

### 3.3. Tính chất cơ lý của màng sợi PVDF/GO 2 wt%

Bảng 1 thể hiện tính chất cơ lý của màng sợi PVDF và PVDF/GO (2 wt%) với các thông số độ bền kéo đứt và độ giãn dài khi đứt.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của màng sợi PVDF và PVDF/GO

Tính chất cơ lý	Đơn vị tính	Mẫu	
		Màng sợi PVDF	Màng sợi PVDF/GO (2 wt%)
Độ bền kéo đứt	MPa	3,24	5,13
Độ giãn dài	%	28,55	50,67

Kết quả đo tính chất cơ lý cho thấy, độ bền kéo đứt và độ giãn dài khi đứt của màng sợi PVDF/GO (2 wt%) cao hơn so với màng PVDF. Điều này hoàn toàn hợp lý vì graphene được biết đến là một loại vật liệu có độ bền cơ lý cao, có vai trò gia cường cho vật liệu.

### 3.4. Đánh giá khả năng hấp phụ As<sup>5+</sup> của màng sợi PVDF/GO 2 wt%

#### 3.4.1. Khảo sát khả năng hấp phụ theo thời gian

Cân chính xác 0,10g màng sợi PVDF/GO (2 wt%) và cho vào các cốc thủy tinh có chứa 50ml dung dịch ion As<sup>5+</sup> nồng độ 1mg/l và khuấy trong thời gian là 20; 40; 60; 90 phút. Sau khoảng thời gian khảo sát, lấy màng sợi ra và đem dung dịch sau hấp phụ đi đo nồng độ As<sup>5+</sup> bằng phương pháp AAS. Kết quả đo nồng độ dung dịch As<sup>5+</sup> sau hấp phụ (C<sub>t</sub>) trong các thời gian khác nhau được thể hiện trên bảng 2.

Bảng 2. Kết quả khảo sát khả năng hấp phụ As<sup>5+</sup> của màng PVDF/GO (2 wt%) theo thời gian

Thời gian hấp phụ (phút)	Nồng độ As <sup>5+</sup> (mg/l)	
	C <sub>0</sub>	C <sub>t</sub>
20	1,0	0,056
40	1,0	0,053
60	1,0	0,053
90	1,0	0,053

Như vậy, sau thời gian 20 phút thì màng PVDF/GO (2 wt%) đã đạt đến trạng thái hấp phụ bão hòa (hấp phụ cân bằng) và có thể làm giảm nồng độ dung dịch As<sup>5+</sup> từ 1mg/l xuống còn 0,053mg/l.

#### 3.4.2. Khảo sát khả năng hấp phụ theo nồng độ dung dịch As<sup>5+</sup>

Cân chính xác 0,10 g màng sợi PVDF/GO (2 wt%) cho vào các cốc thủy tinh có chứa 50ml dung dịch ion As<sup>5+</sup> với các nồng độ 0,1mg/l; 0,3mg/l; 0,5mg/l; 0,7mg/l và 1mg/l và khuấy trong thời gian là 20 phút. Sau đó lấy màng sợi ra và đem dung dịch sau hấp phụ đi đo nồng độ As<sup>5+</sup> bằng phương pháp AAS. Kết quả đo nồng độ dung dịch As<sup>5+</sup> sau hấp phụ (C<sub>e</sub>) được thể hiện trên bảng 3.

Dung lượng hấp phụ khi đạt cân bằng được tính theo công thức sau:

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{a} \cdot V$$

Trong đó:

q<sub>e</sub>: Dung lượng chất bị hấp phụ trên 1g mẫu (mg/g)

C<sub>0</sub>: Nồng độ ban đầu của dung dịch As<sup>5+</sup> (mg/l)

C<sub>e</sub>: Nồng độ dung dịch As<sup>5+</sup> đạt cân bằng hấp phụ (mg/l)

a: Lượng chất hấp phụ (g)

V: Thể tích dung dịch hấp phụ (lít)

Bảng 3. Kết quả khảo sát khả năng hấp phụ As<sup>5+</sup> của màng PVDF/GO (2 wt%) theo nồng độ

Nồng độ As <sup>5+</sup> trước hấp phụ C <sub>0</sub> (mg/l)	Nồng độ As <sup>5+</sup> sau hấp phụ C <sub>e</sub> (mg/l)	q <sub>e</sub> · 10 <sup>-3</sup> (mg/g)
0,1	0,026	36,83
0,3	0,037	131,50
0,5	0,041	229,50
0,7	0,044	328,00
1,0	0,053	473,50

Kết quả thu được ở bảng 3 cho thấy, khi nồng độ dung dịch As<sup>5+</sup> càng lớn thì dung lượng As<sup>5+</sup> hấp phụ trên 1g màng sợi PVDF/GO (2 wt%) càng lớn. Sở dĩ nồng độ dung dịch As<sup>5+</sup> trong nghiên cứu này được khảo sát hấp phụ trong khoảng từ 0,1 đến 1,0mg/l vì đây là nồng độ arsen có trong nguồn nước thải và nước ngầm ở một số địa phương. Như vậy sau xử lý, nồng độ As<sup>5+</sup> trong dung dịch đã đạt đến tiêu chuẩn của nước sinh hoạt ở mức độ II (< 0,05mg/l). Điều này cho thấy tiềm năng ứng dụng của màng sợi PVDF/GO (2 wt%) trong việc xử lý các nguồn nước nhiễm

asen ở các khu vực của Việt Nam. Ưu điểm của màng sợi composit này trong xử lý nước nhiễm asen là sử dụng tiện lợi vì vật liệu ở dạng màng, dễ dàng thu hồi lại sau khi sử dụng mà không sinh ra chất thải thứ cấp sau xử lý.

#### 4. KẾT LUẬN

Màng sợi polyvinylidene fluoride có chứa GO đã được chế tạo bằng phương pháp kéo sợi điện trường quay. Sợi PVDF/GO (2 wt%) có đường kính trong khoảng từ 3,0 đến 3,5 $\mu\text{m}$  với bề mặt sợi xù xì. Màng có độ bền kéo đứt và độ giãn dài khi đứt là 5,13MPa và 50,67%. Thời gian màng đạt đến trạng thái hấp phụ bão hòa  $\text{As}^{5+}$  là 20 phút. Dung lượng hấp phụ cân bằng của màng càng tăng khi nồng độ dung dịch  $\text{As}^{5+}$  càng tăng. Màng sợi composit này thích hợp sử dụng để xử lý các nguồn nước nhiễm asen ở nồng độ 0,1mg/l đến 0,7mg/l đạt tiêu chuẩn của nước sinh hoạt mức độ II theo QCVN 02:2009/BYT.

---

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2016. *Báo cáo hiện trạng Môi trường quốc gia năm 2016*. <http://opendata.vn/dataset/bao-cao-hien-trang-moi-truong-quoc-gia-nam-2016>.
- [2]. Ramakrishna Matte, H.S.S., Subrahmanyam, K.S., Rao, C.N.R., 2011. Synthetic aspects and selected properties of graphene. *Nanomat. Nanotech.* 1, 3-13.
- [3]. Wu W., Yang Y., Zhou H., Ye T., Huang Z., Liu R., Kuang Y., 2013. *Highly efficient removal of Cu(II) from aqueous solution by using graphene oxide*. *Water Air Soil Pollut.* 224, 1-8.
- [4]. Nguyễn Hữu Hiếu, 2015. *Tổng hợp  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /graphene oxide nanocomposite để xử lý nước thải nhiễm kim loại nặng*. Tạp chí phát triển Khoa học & Công nghệ, số 18, 212-220.
- [5]. Bhardwaj N., Kundu S.C., 2010. *Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique*. *Biotech. Adv.* 28, 325-347.
- [6]. Andraday A.L., Wiley A.J., 2008. *Science and Technology of Polyme Nanofibers*. Hoboken, USA, 81-110.
- [7]. Hà Quang Ánh, 2016. *Nghiên cứu tổng hợp và đặc trưng vật liệu mới cấu trúc nano trên cơ sở graphen ứng dụng trong xử lý môi trường*. Luận văn Tiến sĩ hóa học, Viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.
- [8]. Lubasova D., Martinova L., 2011. *Controlled morphology of porous polyvinyl butyral nanofibers*. *J. Nanomater.* doi: 10.1155/2011/292516
- [9]. Nguyen T.T.T., Ghosh C., Hwang S.G., Chanunpanich N., Park J.S., 2012. *Porous core/sheath composite nanofibers fabricated by coaxial electrospinning as a potential mat for drug release system*. *Inter. J. Pharma.* 439, 296-306.

---

#### AUTHORS INFORMATION

Nguyen Thi Thu Thuy<sup>1</sup>, Phan Dinh Huan<sup>2</sup>, Trinh Thi Hai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry

<sup>2</sup>Center for Laboratory Analysis, North Vietnam Geological Mapping Division