

Nghiên cứu chế tạo và một số tính chất của sợi polyvinylidene fluoride bằng phương pháp phun kéo sợi điện trường

Nguyễn Thị Thu Thủy^{1*}, Nguyễn Thế Hữu², Trịnh Thị Hải², Bùi Thị Thu Trang²

¹Viện Nghiên cứu nano, Trường Đại học Phenikaa

²Khoa Công nghệ hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Ngày nhận bài 2/7/2020; ngày chuyển phản biện 6/7/2020; ngày nhận phản biện 20/8/2020; ngày chấp nhận đăng 1/9/2020

Tóm tắt:

Phương pháp phun kéo sợi điện trường (electrospinning) cho phép chế tạo các sợi polymer với đường kính trong khoảng vài chục nm đến vài μm . Trong nghiên cứu này, các yếu tố ảnh hưởng đến hình thái học, đường kính sợi trung bình và sự phân bố đường kính sợi polyvinylidene fluoride (PVDF) chế tạo bằng phương pháp electrospinning được đánh giá dựa trên ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM). Các yếu tố ảnh hưởng được khảo sát bao gồm nồng độ dung dịch, điện áp đặt, tốc độ bơm dung dịch, khoảng cách từ đầu kim phun đến bộ thu sản phẩm và hỗn hợp dung môi. Sợi PVDF có cấu trúc thuần đều, đường kính trung bình 736 nm khi nồng độ dung dịch 20% khối lượng, hỗn hợp dung môi N,N-dimethyl acetamide (DMAc) và acetone (Ac) tỷ lệ 60/40 theo khối lượng, điện áp 11 kV, tốc độ bơm 1,0 ml/h và khoảng cách từ đầu kim phun đến bộ thu 17 cm. Đặc trưng về tính kỵ nước và độ bền kéo của màng sợi PVDF cũng được báo cáo. Màng sợi nano PVDF có thể được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như màng lọc nước, màng lọc khí, xúc tác, pin lithium...

Từ khóa: điện áp đặt, electrospinning, hình thái học, polyvinylidene fluoride, sợi nano polymer.

Chỉ số phân loại: 2.9

Đặt vấn đề

Sợi nano polyme là loại vật liệu thu hút được nhiều quan tâm nghiên cứu trong hơn chục năm trở lại đây do chúng có bề mặt riêng lớn, dễ biến tính thành phần và tính chất để phù hợp với mục đích ứng dụng. Màng sợi nano polymer được đánh giá có hiệu quả cao khi sử dụng trong các lĩnh vực: xúc tác, chất mang xúc tác, chất hấp phụ, màng lọc khí và nước, cảm biến... [1-3]. Hiện nay, electrospinning là phương pháp phổ biến để chế tạo sợi nano polymer với đường kính có thể đạt trong khoảng từ 5 nm đến dưới 1 μm .

Về nguyên tắc, phương pháp electrospinning sử dụng một điện trường mạnh áp lên giọt dung dịch polymer được đẩy ra từ đầu mao quản (kim phun). Khi điện áp đạt đến giá trị tối ưu, lực tương tác tĩnh điện thắng được sức căng bề mặt của dung dịch thì sẽ tạo ra dòng dung dịch được di chuyển từ đầu kim phun đến bộ thu sản phẩm. Khi đó, dòng dung dịch này được kéo dẫn, uốn, vắt và đồng thời bay hơi dung môi. Kết quả là ở bộ thu sản phẩm thu được các sợi polymer sắp xếp ngẫu nhiên hoặc có trật tự tùy thuộc cấu trúc của bộ thu sản phẩm. Do đó, có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến khả năng thu sợi, hình thái sợi, đường kính sợi, sự phân bố đường kính sợi và cấu trúc bề mặt sợi. Các yếu tố chính có thể kể đến là khối lượng phân tử polymer, nồng độ dung

dịch polymer, độ nhớt, điện áp, tốc độ phun sợi, khoảng cách từ kim phun đến bộ thu sản phẩm, độ ẩm, dung môi. Nghiên cứu của Zaarour và cs (2018) [4] đã phân tích ảnh hưởng của độ ẩm môi trường đến cấu trúc bề mặt, pha tinh thể, tính chất cơ học, tính kỵ nước và tính chất áp điện của sợi nano PVDF.

PVDF được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu và ứng dụng công nghiệp do nó có những tính chất đặc trưng như độ bền cơ học cao, bền hóa chất, độ ổn định nhiệt tốt, có tính chất hòa điện, áp điện và dễ gia công. Sợi nano PVDF có thể được chức năng hóa để ứng dụng làm màng lọc hoặc cảm biến. Lolla và cs (2018) [5] đã biến tính màng sợi nano PVDF bằng xử lý nhiệt - điện để tăng khả năng lọc NaCl trong nước. Hiệu quả lọc NaCl của màng PVDF đã biến tính có thể đạt 97% với độ chênh lệch áp suất là 58 mm H₂O. Màng sợi PVDF có bổ sung các vật liệu vô cơ như ZnO, Al₂O₃, Fe₃O₄, CdS, SiO₂... được nghiên cứu để loại bỏ ion kim loại nặng trong nước [6-9]. Màng sợi PVDF có thể làm chất mang cho xúc tác trong nhiều phản ứng. Li và cs (2012) [10] đã gắn CoCl₂ lên màng sợi nano PVDF để làm xúc tác cho phản ứng phân hủy NaBH₄. Diện tích bề mặt lớn, tính ổn nhiệt và độ bền cơ học cao của sợi PVDF tạo ra hoạt tính xúc tác và khả năng tái sử dụng cao. Hiệu

*Tác giả liên hệ: Email: thuy.nguyenthithu@phenikaa-uni.edu.vn

Fabrication and characterization of polyvinylidene fluoride nanofibers prepared by electrospinning technique

Thi Thu Thuy Nguyen^{1*}, The Huu Nguyen²,
Thi Hai Trinh², Thi Thu Trang Bui²

¹Phenikaa University Nano Institute, Phenikaa University

²Faculty of Chemical Engineering, Hanoi University of Industry

Received 2 July 2020; accepted 1 September 2020

Abstract:

Electrospinning is a technique that produces polymer fibers with diameters in the submicron range. In this study, some electrospinning parameters affecting the morphology, average diameter, and distribution of the diameter of polyvinylidene fluoride (PVDF) fibers were investigated by using scanning electron microscopy (SEM). These electrospinning parameters include solution concentration, applied voltage, the feed rate of solution, distance from the needle to the collector, and solvent mixture. PVDF fibers have a fine structure, narrow distribution of fiber diameter, and average fiber diameter of 736 nm at a solution concentration of 20 wt%, solvent mixture with 60/40 weight of *N,N*-dimethylacetamide (DMAc) and acetone (Ac), an applied voltage of 11 kV, the feed rate of 1 ml/h, and the distance from the needle to the collector of 17 cm. The hydrophobic property and tensile strength of the PVDF nanofiber membrane were also reported. PVDF nanofibers have the potential to apply in several areas such as water or gas filtration, catalyst, lithium battery, ect.

Keywords: applied voltage, electrospinning, morphology, polymer nanofibers, polyvinylidene fluoride.

Classification number: 2.9

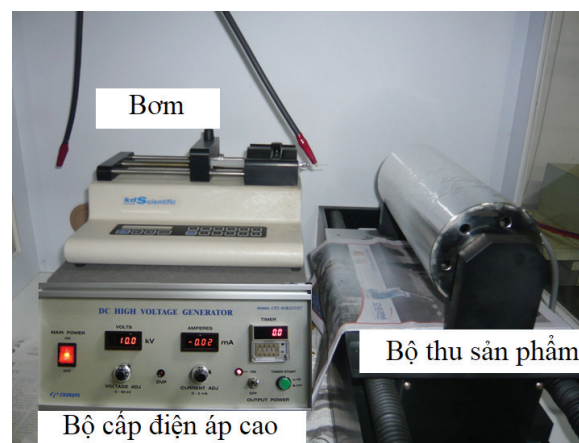
quả ứng dụng của màng sợi PVDF trong các lĩnh vực khác nhau phụ thuộc vào hình thái, kích thước sợi, diện tích bề mặt riêng màng sợi mà các tính chất này thay đổi theo điều kiện chế tạo sợi. Zulfikar và cs (2017) [11] đã nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ bơm và khoảng cách từ kim phun tới bộ thu sợi đối với hình thái sợi PVDF khi sử dụng dung môi là DMF. Tuy nhiên, nghiên cứu này vẫn chưa khảo sát đầy đủ các thông số khác ảnh hưởng đáng kể đến sự hình thành và đặc trưng sợi PVDF.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi khảo sát một cách có hệ thống ảnh hưởng của các thông số về nồng độ dung dịch, dung môi, điện áp, tốc độ bơm, khoảng cách từ đầu kim phun tới bộ thu sản phẩm đến hình thái sợi, đường kính trung bình và sự phân bố đường kính sợi PVDF chế tạo bằng phương pháp electrospinning. Tính chất kỵ nước và độ bền cơ học của màng sợi PVDF cũng được đưa ra trong báo cáo này.

Thực nghiệm

Hóa chất: PVDF tên thương mại Kynar@761, dung môi *N,N*-Dimethylacetamide (DMAc), *N,N*-Dimethylformamide (DMF) và acetone sản xuất bởi Công ty Samchun Co. (Hàn Quốc).

Hệ thiết bị electrospinning (hình 1) bao gồm bộ cấp điện áp cao, bơm và bộ thu sản phẩm sợi nano.



Hình 1. Hệ thống electrospinning.

Chuẩn bị dung dịch PVDF cho quá trình electrospinning: PVDF được hòa tan trong các hỗn hợp dung môi khác nhau là DMAc/acetone và DMF/acetone với các nồng độ khảo sát là 10, 15, 20 và 25% khối lượng bằng máy khuấy từ có gia nhiệt 60°C.

Quy trình chế tạo sợi PVDF bằng phương pháp electrospinning [12]: dung dịch PVDF được cho vào xylanh nhựa 10 ml và đặt vào thiết bị bơm. Bơm được cài đặt sao cho lưu lượng dung dịch PVDF được bơm qua đầu kim

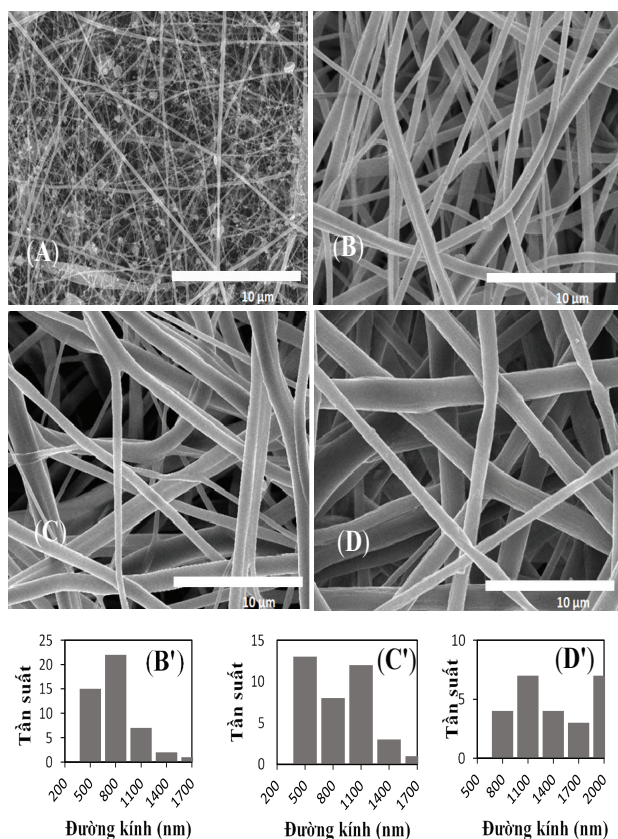
phun với các tốc độ khảo sát là 0,7, 1,0, 1,2 và 1,5 ml/h. Khoảng cách từ đầu kim phun đến bộ thu sản phẩm được thay đổi 7, 12, 17 và 20 cm. Sau khi điều khiển cho bơm hoạt động, nâng điện áp lên đến các giá trị khảo sát là 9, 11, 13 và 15 kV.

Hình thái sợi PVDF được quan sát trên SEM độ phân giải cao FE-SEM (Hitachi S-4700). Đường kính trung bình và sự phân bố đường kính được đo bằng phần mềm Tomoro ScopeEye 3.6 dựa trên ảnh FE-SEM. Độ bền kéo và độ giãn dài khi kéo của màng sợi PVDF được xác định trên thiết bị LR 5K, LLOYD Instrument.

Kết quả và thảo luận

Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch PVDF đến hình thái sợi

Nồng độ của dung dịch polymer ảnh hưởng đến khả năng tạo sợi và hình thái sợi tạo thành trong quá trình electrospinning. Hình 2 trình bày ảnh SEM và sự phân bố đường kính sợi của màng sợi PVDF chế tạo từ các dung dịch PVDF có nồng độ khác nhau. Điện áp sử dụng là 11 kV, tốc độ bơm là 1,0 ml/h, khoảng cách từ kim phun đến bộ thu sản phẩm là 17 cm, hỗn hợp dung môi DMAc/Ace = 60/40.



Hình 2. Ảnh SEM và sự phân bố đường kính sợi của màng sợi PVDF chế tạo từ dung dịch PVDF có nồng độ: (A) 10 wt%, (B, B') 15 wt%, (C, C') 20 wt%, (D, D') 22 wt%.

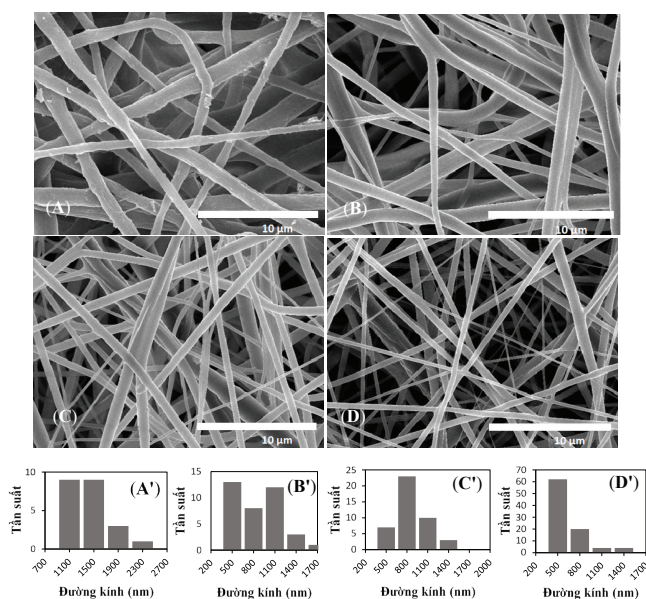
Hình 2 cho thấy, ở nồng độ dung dịch PVDF 10 wt%, hình thái sợi không đồng đều, trên màng xuất hiện các hạt. Khi nồng độ dung dịch PVDF lớn hơn 15 wt%, sợi PVDF thu được từ quá trình electrospinning có hình trơn đều, không xuất hiện giọt, màng phun mịn. Tuy nhiên, khi nồng độ dung dịch PVDF càng cao thì sự phân bố kích thước của sợi càng lớn. Ngoài ra, khi nồng độ dung dịch PVDF vượt quá 20 wt% thì quá trình hình thành sợi trở lên khó khăn do dung dịch PVDF bị đông rắn ngay tại đầu kim phun, dẫn đến tắc kim phun, cản trở quá trình tạo sợi. Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch đến hình thái của sợi có thể giải thích dựa trên mối quan hệ giữa nồng độ và độ nhớt của dung dịch polymer. Khi nồng độ dung dịch tăng thì độ nhớt dung dịch tăng và ngược lại. Dung dịch có độ nhớt ở một giới hạn nhất định sẽ thuận lợi cho sự tạo thành sợi với hình thái đồng đều và sự phân bố kích thước trong khoảng hẹp. Khi độ nhớt dung dịch quá nhỏ, các chuỗi polyme ít có sự tương tác với nhau, dẫn đến sự tạo thành các giọt dưới tác dụng kéo của điện trường. Khi độ nhớt quá cao, quá trình electrospinning trở lên khó khăn do sự đông rắn nhanh chóng của dung dịch ngay tại đầu kim phun. Khi độ nhớt tăng, sự tương tác ràng buộc giữa các phân tử polymer tăng, dẫn đến kích thước sợi tạo thành cũng tăng. Khi nồng độ dung dịch PVDF tăng từ 15 đến 20 và 22 wt% thì đường kính trung bình của sợi PVDF tăng tương ứng là 645, 736 và 1263 nm. Nghiên cứu [12] sử dụng dung dịch PVDF nồng độ 12 wt% trong hỗn hợp dung môi Acetone/DMAc tỷ lệ 7/3 cho đường kính sợi 450 nm và đường kính sợi tăng khi tăng nồng độ dung dịch polymer. Đây cũng là kết quả khá thống nhất với kết quả được báo cáo trong nghiên cứu này.

Dựa trên kết quả ảnh SEM và khả năng tạo sợi trong quá trình electrospinning, dung dịch PVDF 20 wt% được sử dụng cho các khảo sát tiếp theo.

Ảnh hưởng của điện áp đến hình thái sợi

Hình thái sợi và sự phân bố đường kính sợi của màng sợi PVDF chế tạo ở các điện áp 9, 11, 13 và 15 kV được trình bày trong hình 3. Nồng độ dung dịch PVDF là 20 wt%, tốc độ bơm là 1,0 ml/h, khoảng cách từ kim phun đến bộ thu sản phẩm là 17 cm, hỗn hợp dung môi DMAc/Ace = 60/40.

Để hình thành sợi trong quá trình electrospinning thì điện áp đặt vào dung dịch polymer phải đủ lớn để thắng được sức căng bề mặt của dung dịch. Ở điện áp 9 kV, các sợi PVDF được hình thành nhưng do điện trường yếu nên quá trình không diễn ra liên tục, thỉnh thoảng xuất hiện giọt bắn ra từ đầu kim phun. Khi tiếp tục tăng điện áp thì thu được màng sợi mịn và không có giọt, phân bố đường kính sợi đồng đều hơn. Tuy nhiên, khi điện áp đặt 15 kV thì quan sát thấy quá trình phun sợi trở lên bất ổn định do lực điện trường lớn gây ra sự uốn, vắt đứt đôi dòng dung dịch đi ra từ đầu kim phun. Kích thước sợi PVDF giảm rõ rệt từ 1209 xuống 736, 730 và 470 nm khi điện áp tăng tương ứng từ 9, 11, 13 và 15 kV. Điều này xảy ra là do khi tăng điện áp, lực



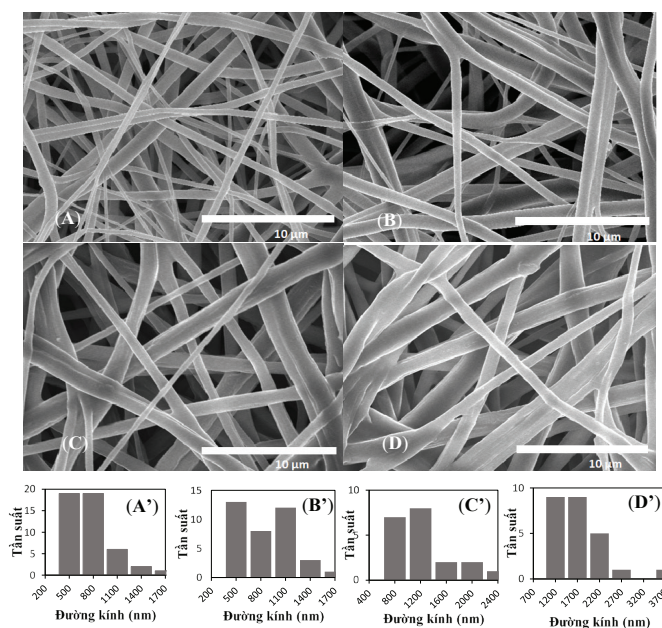
Hình 3. Ảnh SEM và sự phân bố đường kính sợi của màng sợi PVDF chế tạo ở các điện áp khác nhau: (A, A') 9 kV, (B, B') 11 kV, (C, C') 13 kV, (D, D') 15 kV.

điện trường áp đặt lên dung dịch polymer càng lớn gây ra lực kéo sợi càng lớn làm cho kích thước các sợi trở nên nhỏ hơn. Như vậy, điện áp 11 kV là phù hợp để thực hiện quá trình tạo sợi PVDF trong các nghiên cứu tiếp theo.

Ảnh hưởng của tốc độ bơm dung dịch

Ảnh hưởng của tốc độ bơm dung dịch qua đầu kim phun (0,7, 1,0, 1,2 và 1,5 ml/h) đến hình thái và sự phân bố đường kính sợi được thể hiện trên hình 4. Nồng độ dung dịch PVDF là 20 wt%, điện áp 11 kV, khoảng cách từ kim phun đến bộ thu sản phẩm là 17 cm, hỗn hợp dung môi DMAc/Ace = 60/40.

Nếu tốc độ bơm dung dịch nhỏ, không đủ để cung cấp liên tục dung dịch ở đầu kim phun thì quá trình tạo sợi sẽ bị đứt quãng. Tuy nhiên, nếu tốc độ bơm dung dịch quá lớn thì đòi hỏi phải tăng điện áp sao cho điện trường đủ lớn để kéo sợi liên tục mà không làm cho dung dịch ở đầu kim phun bị đóng rắn. Do đó, đối với mỗi dung dịch đưa vào tạo sợi bằng phương pháp electrospinning, cần điều chỉnh tốc độ bơm dung dịch phù hợp để có được sợi nano ổn định và có đường kính đồng nhất. Hình 4 cho thấy, có thể thu được sợi PVDF ở các tốc độ bơm dung dịch từ 0,7 đến 1,5 ml/h. Tuy nhiên, ở tốc độ bơm dung dịch là 1,2 và 1,5 ml/h thì quan sát thấy hiện tượng các sợi bị kết dính với nhau nhiều hơn do dung môi chưa bay hơi triệt để khi di chuyển từ đầu kim phun đến bộ thu sản phẩm. Đường kính của sợi cũng thay đổi theo tốc độ bơm dung dịch, từ 613 đến 736, 1006 và 1492 nm tương ứng với tốc độ bơm dung dịch là 0,7, 1,0, 1,2 và 1,5 ml/h. Nghiên cứu của nhóm tác giả Zulfikar (2017) [11] cho thấy có sự hình thành của hạt (bead) nằm trên sợi PVDF khi tốc độ bơm nhỏ hơn 1,2 ml/h. Số lượng hạt giảm dần khi tăng



Hình 4. Ảnh SEM và sự phân bố đường kính sợi của màng sợi PVDF chế tạo ở các tốc độ bơm dung dịch khác nhau: (A, A') 0,7 ml/h, (B, B') 1,0 ml/h, (C, C') 1,2 ml/h, (D, D') 1,5 ml/h.

tốc độ bơm do sự gia tăng dòng điện gây ra bởi bản chất tích điện của PVDF. Ngược lại, mật độ điện tích bề mặt giảm khi tốc độ bơm tăng lên, ngăn cản sự hình thành các khuyết tật trên sợi.

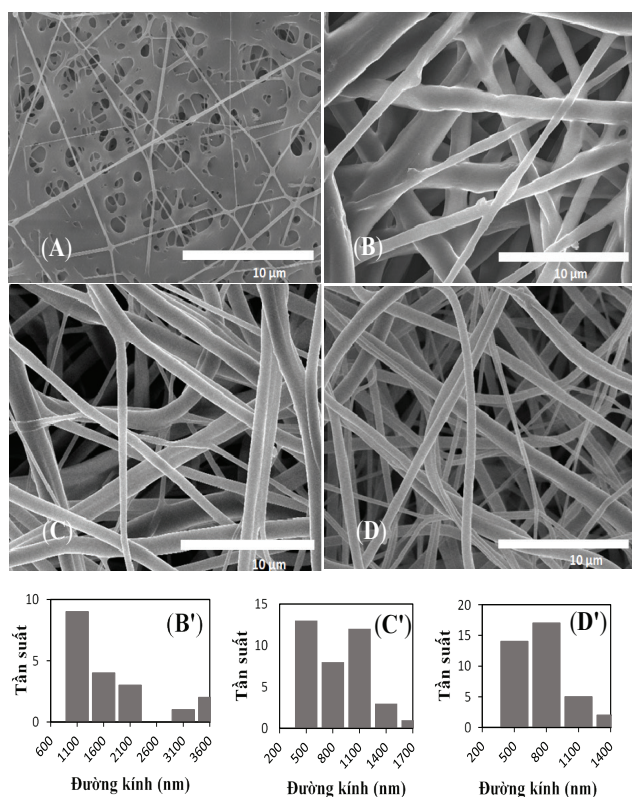
Từ kết quả khảo sát trên cho thấy, tốc độ bơm dung dịch PVDF 20 wt% phù hợp là 1,0 ml/h.

Ảnh hưởng của khoảng cách từ đầu kim phun đến bộ thu sản phẩm

Hình 5 thể hiện ảnh hưởng của khoảng cách từ đầu kim phun tới bộ thu sản phẩm đến hình thái và sự phân bố đường kính sợi PVDF thông qua ảnh SEM. Các màng sợi được chế tạo ở nồng độ dung dịch 20 wt%, điện áp 11 kV, tốc độ bơm dung dịch 1,0 ml/h, hỗn hợp dung môi DMAc/Ace = 60/40.

Khoảng cách từ đầu kim phun đến bộ thu sản phẩm ảnh hưởng đến thời gian dung môi bay hơi và cường độ điện trường kéo sợi. Khi dòng dung dịch di chuyển với khoảng cách ngắn (7 cm), lực kéo sợi mạnh và dung môi bay hơi không hết, dẫn đến sự tạo thành màng ướt ở bộ thu sản phẩm. Khi tăng khoảng cách lên 12 cm thì các sợi được hình thành nhưng vẫn có sự kết dính giữa các sợi. Ở các khoảng cách lớn hơn, kích thước sợi giảm dần (từ 1483 xuống 736 và 605 nm tương ứng với các khoảng cách 12, 17 và 20 cm) do thời gian tác dụng của lực kéo điện trường dài hơn. Nghiên cứu [11] cũng cho thấy, khoảng cách này càng lớn thì sợi tạo ra càng đồng đều.

Như vậy, kết quả ảnh SEM cho thấy khoảng cách thích hợp từ kim phun đến bộ thu sản phẩm cho quá trình tạo sợi PVDF là 17 cm.

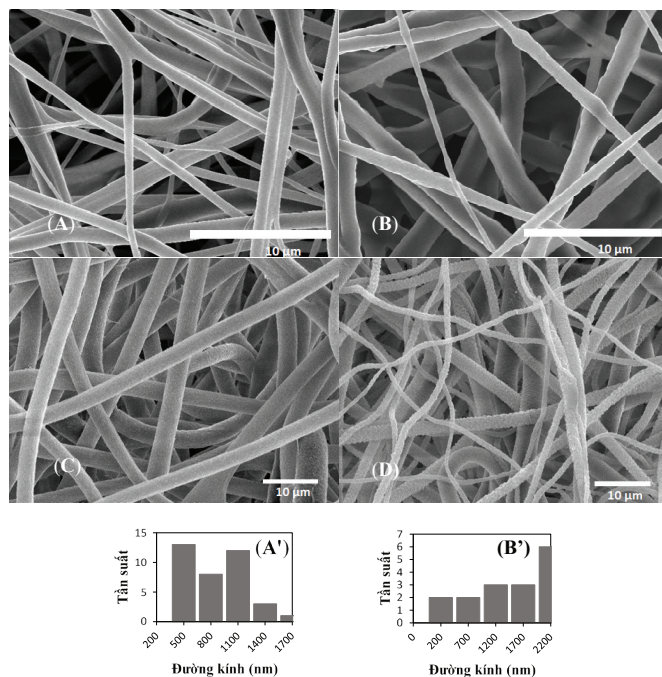


Hình 5. Ảnh SEM và sự phân bố đường kính sợi của màng sợi PVDF chế tạo ở các khoảng cách giữa đầu kim phun đến bộ thu sản phẩm khác nhau: (A) 7 cm, (B, B') 12 cm, (C, C') 17 cm, (D, D') 20 cm.

Ảnh hưởng của dung môi đến hình thái sợi

Loại dung môi ảnh hưởng đến khả năng hòa tan, độ nhớt, sức căng bề mặt và tính dẫn điện của dung dịch polymer, từ đó ảnh hưởng đến khả năng hình thành sợi và hình thái của sợi thu được. Hình 6 trình bày ảnh SEM của các màng sợi PVDF được chế tạo với các hỗn hợp dung môi khác nhau, trong đó DMAc và DMF là các dung môi có khả năng hòa tan tốt PVDF. Điều kiện chế tạo bao gồm nồng độ dung dịch 20 wt%, tốc độ bơm dung dịch 1,0 ml/h, điện áp 11 kV, khoảng cách từ kim phun đến bộ thu sản phẩm là 17 cm.

Quan sát ảnh SEM ở hình 6 cho thấy, kích thước của sợi PVDF có thể thay đổi khi thay đổi tỷ lệ thành phần dung môi. Đối với sợi PVDF chế tạo khi sử dụng hỗn hợp dung môi DMF/Ace thì bề mặt không nhẵn mịn mà thấy xuất hiện các mao quản nhỏ trên bề mặt sợi. Đây được gọi là sợi có cấu trúc mao quản bề mặt. Hiện tượng này xảy ra là do sự phân tách pha trong quá trình bay hơi chuyển dung dịch về trạng thái sợi rắn dưới ảnh hưởng của loại dung môi sử dụng và độ ẩm của môi trường [13, 14]. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng hệ dung môi 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%). Khi dòng dung dịch polyme di chuyển từ đầu kim phun đến bộ thu



Hình 6. Ảnh SEM và sự phân bố đường kính sợi của màng sợi PVDF chế tạo với các dung môi khác nhau: (A, A') DMAc/Ace = 60/40, (B, B') DMAc/Ace = 40/60, (C) DMF/Ace = 70/30, (D) DMF/Ace = 60/40.

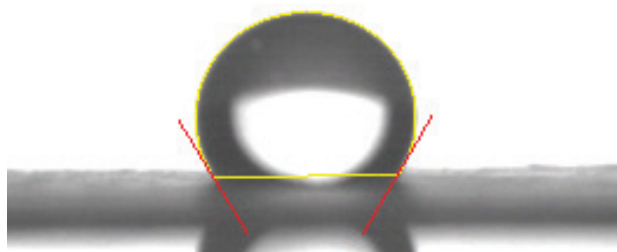
sản phẩm, sự làm lạnh và sự tăng dần nồng độ dung dịch polyme do bay hơi dung môi dẫn đến sự phân tách pha. Một pha rắn được hình thành trên bề mặt dòng dung dịch do dung môi axeton bay hơi nhanh tạo lớp mao quản bên ngoài, còn một pha nằm trong dòng dung dịch đóng rắn sau cùng tạo khối lõi của sợi. Đồng thời, 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. Zaarour và cs (2018) không chỉ tạo ra sợi có cấu trúc mao quản bề mặt mà còn tạo các lỗ rỗng bên trong sợi khi sử dụng dung dịch có nồng độ 22 wt% trong dung môi DMF/Ace tỷ lệ 1/8 và chế tạo ở độ ẩm 62% [4].

Với cùng một tỷ lệ dung môi (60/40), bề mặt sợi PVDF chế tạo bằng hỗn hợp dung môi DMAc/Ace nhẵn mịn, không xuất hiện mao quản trên bề mặt (hình 6A) là do sợi được chế tạo trong điều kiện độ ẩm môi trường thấp (dưới 50%), mặc dù DMAc có nhiệt độ sôi cao hơn DMF. Như vậy, để hình thành mao quản trên bề mặt sợi chế tạo bằng phương pháp electrospinning, cần phải đồng thời sử dụng hỗn hợp dung môi có sự chênh lệch lớn về khả năng bay hơi và thực hiện trong môi trường có độ ẩm cao.

Tính chất kỵ nước của màng sợi PVDF

Góc tiếp xúc của giọt nước với bề mặt của màng sợi PVDF (hình 7) có giá trị là 107,6°. Điều này chứng tỏ bề mặt màng sợi PVDF có tính kỵ nước cao gây ra bởi cấu trúc

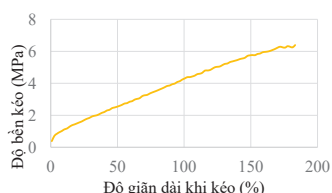
bề mặt của màng sợi. Màng sợi PVDF có thể được biến tính bằng cách bổ sung các hạt nano SiO_2 , TiO_2 hay Fe_3O_4 để làm tăng tính kỵ nước, từ đó ứng dụng trong lĩnh vực phân tách dầu - nước [15].



Hình 7. Hình ảnh góc tiếp xúc của giọt nước với bề mặt màng sợi PVDF.

Độ bền kéo của màng sợi PVDF

Màng sợi PVDF có độ bền kéo đứt đạt 6,39 MPa và độ giãn dài khi đứt đạt 183% (hình 8). Kết quả này cho phép sử dụng màng sợi PVDF trong nhiều lĩnh vực khác nhau như làm màng lọc, hấp phụ, màng xúc tác...



Hình 8. Độ bền kéo của màng sợi PVDF.

Kết luận

Sợi PVDF chế tạo bằng phương pháp electrospinning có cấu trúc thuần đều, bề mặt sợi phẳng mịn, đường kính sợi trung bình 736 nm thu được ở các điều kiện: nồng độ dung dịch 20 wt%, điện áp 11 kV, tốc độ bơm dung dịch 1,0 ml/h, khoảng cách từ đầu kim phun đến bộ thu sản phẩm 17 cm, hỗn hợp dung môi DMAc/Ace = 60/40. Đường kính trung bình và sự phân bố đường kính sợi PVDF có thể thay đổi nếu thay đổi các thông số trên. Cấu trúc mao quản bề mặt sợi PVDF có thể được hình thành nếu sử dụng hỗn hợp dung môi DMF/Ace với tỷ lệ thành phần 70/30 và 60/40 trong điều kiện độ ẩm của môi trường trên 70%. Màng sợi PVDF thể hiện tính kỵ nước với góc tiếp xúc của giọt nước với bề mặt của màng đạt giá trị 107,6°. Độ bền kéo đứt và độ giãn dài khi đứt của màng sợi PVDF tương ứng là 6,39 MPa và 183%, đảm bảo tính chất cơ lý khi sử dụng màng PVDF trong nhiều lĩnh vực khác nhau.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo được thực hiện bởi kinh phí tài trợ từ Quỹ phát triển KH&CN quốc gia (Nafosted) thông qua Đề tài mã số 104.02-2019.30. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] X. Shi, et al. (2015), "Electrospinning of nanofibers and their applications for energy devices", *Journal of Nanomaterials*, **2015**, DOI: 10.1155/2015/140716.
- [2] Kenry, C.T. Lim (2017), "Nanofiber technology: current status and emerging developments", *Progress in Polymer Science*, **70**, pp.1-17.
- [3] S. Nemati, et al. (2019), "Current progress in application of polymeric nanofibers to tissue engineering", *Nano Convergence*, **36(6)**, pp.1-16.
- [4] B. Zaarour, L. Zhu, C. Huang, X. Jin (2018), "Fabrication of a polyvinylidene fluoride cactus-like nanofiber through one-step electrospinning", *RSC Advances*, **8**, pp.42353-42360.
- [5] D. Lolla, et al. (2018), *Functionalized polyvinylidene fluoride electrospun nanofibers and applications (Chapter 5: Electrospinning method used to create functional nanocomposite films)*, Intechopen, DOI: 10.5772/intechopen.76261.
- [6] S. Liang, et al. (2012), "A novel ZnO nanoparticle blended polyvinylidene fluoride membrane for anti-irreversible fouling", *Journal of Membrane Science*, **394**, pp.184-192.
- [7] F. Liu, M.R.M. Abed, K. Li (2011), "Preparation and characterization of poly (vinylidene fluoride) (PVDF) based ultrafiltration membranes using nano $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ", *Journal of Membrane Science*, **366**, pp.97-103.
- [8] J. Du, et al. (2004), "Preparation and characterization of Fe_3O_4 /PVDF magnetic composite membrane", *Acta Physico-Chimica Sinica*, **20**, pp.598-601.
- [9] N.A. Hashim, Y. Liu, K. Li (2011), "Preparation of PVDF hollow fiber membranes using SiO_2 particles: The effect of acid and alkali treatment on the membrane performances", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **50**, pp.3035-3040.
- [10] Q. Li, et al. (2012), "Preparation of Y-zeolite/ CoCl_2 doped PVDF composite nanofiber and its application in hydrogen production", *Energy*, **38**, pp.144-150.
- [11] M.A. Zulfikar, et al. (2017), "Effect of processing parameters on the morphology of PVDF electrospun nanofibers", *IOP Conference Series: Journal of Physics*, **987**, DOI: 10.1088/1742-6596/987/1/012011.
- [12] J.R. Kim, et al. (2004), "Electrospun PVDF-based fibrous polymer electrolytes for lithium ion polymer batteries", *Electrochimica Acta*, **50**, pp.69-75.
- [13] D. Lubasova, L. Martinova (2011), "Controlled morphology of porous polyvinyl butyral nanofibers", *Journal of Nanomaterials*, **2011**, pp.1-6.
- [14] T.T.T. Nguyen, et al. (2012), "Porous core/sheath composite nanofibers fabricated by coaxial electrospinning as a potential mat for drug release system", *International Journal of Pharmaceutics*, **439**, pp.296-306.
- [15] B. Lin, et al. (2020), "An effective strategy on the preparation of the superhydrophobic electrospun nanoparticles/PVDF composite membranes for the oil-water separation", *Surface Topography: Metrology and Properties*, **8**, DOI: 10.1088/2051-672X/ab8beb.