

NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP MÀNG CELLULOSE ACETATE TỪ GIẤY TÁI CHẾ ĐỂ LỌC NƯỚC

NGUYỄN THÁI ANH^{1,2,*} - PHAN THỊ HẢI YẾN^{1,2}
 - DƯƠNG CHÁNH NGUYỄN^{1,2} - ĐẶNG VIẾT HÙNG^{1,2} - ĐẶNG VŨ BÍCH HẠNH^{1,2}
 - PHAN THANH LÂM^{1,2} - NGUYỄN VINH TIẾN³

¹Khoa Môi trường và Tài Nguyên,
 Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
 Faculty of Environment and Natural Resources, Ho Chi Minh City University of Technology

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
 Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam

³Khoa Hóa học và Khoa học Sự sống, Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật
 Faculty of Chemistry and Life Sciences,

Ho Chi Minh City University of Technology and Engineering

*Tác giả liên hệ: Email: anhnt83@hcmut.edu.vn

Ngày nhận bài: 6/7/2026

Ngày sửa bài: 22/7/2026

Ngày duyệt đăng bài: 5/8/2026

Tóm tắt:

Nghiên cứu này đã thành công trong việc ứng dụng giấy báo phế liệu để tổng hợp Cellulose Acetate (CA) thân thiện môi trường, phục vụ chế tạo màng lọc xốp xử lý nước sông. Màng được tạo ở nhiệt độ phòng bằng phương pháp đảo pha, kết hợp chất tạo lỗ CaCO_3 và chất hóa dẻo glycerol. Thử nghiệm cho thấy, màng đạt hiệu năng tối ưu với cấu hình 70% CA tinh khiết khi được kết hợp với 30% CA tái chế, độ dày 130 μm , vận hành ổn định trong 6 giờ ở pH 6-7. Trong trường hợp chất lượng nước đầu vào chứa hàm lượng TSS cao (1085 mg/L), màng vẫn giúp giảm mạnh TSS, COD, độ đục và độ màu, đưa chất lượng nước đầu ra đạt tiêu chuẩn Cột A (QCVN 40:2025/BTNMT). Kết quả này khẳng định tiềm năng chuyển hóa chất thải rắn thành màng lọc giá trị cao, thúc đẩy kinh tế tuần hoàn và bảo vệ môi trường.

Từ khóa: giấy phế liệu, Cellulose Acetate, màng lọc, nước sông, môi trường

Synthesis of cellulose acetate membranes from recycled paper for water filtration

Abstract:

This study successfully converts waste newspaper into environmentally friendly cellulose acetate (CA) for fabricating porous membranes for river-water treatment. The membranes were produced at room temperature by phase inversion using CaCO_3 as a pore-forming agent and glycerol as a plasticizer. The optimal membrane contained 70% pure CA and 30% recycled CA, had a thickness of 130 μm , and operated stably for six hours at pH 6-7. Even with influent containing high total suspended solids (1,085 mg/L), the membrane substantially reduced TSS, COD, turbidity, and color, producing treated water that met Column A requirements of QCVN 40:2025/BTNMT. The findings demonstrate the potential of converting solid waste into high-value filtration membranes while supporting circular-economy development and environmental protection.

Keywords: waste paper, cellulose acetate, filtration membrane, river water, environment

1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm môi trường nước mặt hiện nay là một vấn đề mang tính toàn cầu, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người và sự bền vững của hệ sinh thái (Trần Đức Dũng và cộng sự, 2022). Tại các quốc gia đang phát triển nói chung và Việt Nam nói riêng, ước tính có khoảng 80% bệnh tật có liên quan trực tiếp đến tình trạng nguồn nước mặt kém vệ sinh và bị ô nhiễm. Theo một nghiên cứu toàn diện của Bain và các cộng sự, khoảng 1,8 tỷ người trên toàn cầu đang phải sử dụng nguồn nước nhiễm vi khuẩn E. coli hoặc các vi khuẩn coliform chịu nhiệt khác, đối mặt với các nguy cơ dịch bệnh nguy hiểm lây truyền qua đường nước (Bain và cộng sự, 2014). Tại Việt Nam, chất lượng nước mặt tại khu vực các sông nói chung và đặc biệt là sông Sài Gòn hiện đang bị suy giảm nghiêm trọng do các nguồn thải chưa qua xử lý triệt để đổ vào sông và vẫn đang được khai thác cho nhiều mục đích khác nhau (Nguyễn Văn Hồng và cộng sự, 2023).

Để loại bỏ các tác nhân ô nhiễm và vi sinh vật này, công nghệ màng vi lọc nổi lên như một giải pháp hiệu quả, áp dụng phổ biến cho quy mô cụm dân cư nhờ hiệu suất cao, vận hành đơn giản và mức tiêu thụ năng lượng thấp. Tuy nhiên, việc sản xuất công nghiệp các hệ thống màng lọc này hiện nay phụ thuộc rất lớn vào máy móc và thiết bị phức tạp phục vụ cho các quy trình như nghiền và bay hơi dung môi (Kaiser và cộng sự, 2017). Màng này đã được chế tạo đơn giản hơn với phương pháp loại bỏ khuôn mẫu lỗ rỗng dạng hạt nano, trong đó các hạt nano canxi cacbonat được sử dụng làm khuôn mẫu tạo lỗ để điều chỉnh kích thước lỗ rỗng trên nền polymer (Saki và cộng sự, 2018). Hơn nữa, nhằm đáp ứng chi phí thấp, khả năng ứng dụng cao, nguồn nguyên liệu tái chế rẻ tiền phục vụ chế tạo màng lọc được quan tâm mạnh mẽ (Kaiser và cộng sự, 2017).

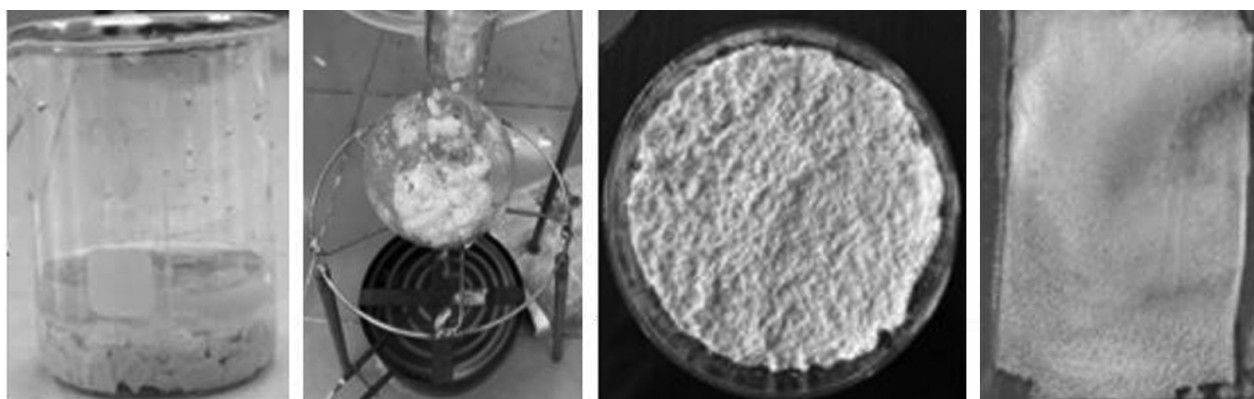
Trong nghiên cứu này, việc tổng hợp màng Cellulose Acetate theo phương pháp đảo pha, kết hợp chất tạo lỗ CaCO_3 và chất hóa dẻo glycerol với Cellulose Acetate tái chế từ nguồn giấy thải đã được áp dụng. Bên cạnh đó, các khảo sát về ảnh hưởng của các thông số chế tạo màng, các điều kiện vận hành đến hiệu suất xử lý COD, TSS, độ đục và độ màu trên nền nước thực tế của sông Sài Gòn đã được triển khai.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp tổng hợp màng Cellulose Acetate

Các bước tổng hợp màng Cellulose Acetate được tham khảo từ nghiên cứu của tác giả Rodrigues Filho (Rodrigues Filho và cộng sự, 2008). Trước tiên, Cellulose thu được sau khi giấy đã qua sử dụng được xử lý bằng dung dịch NaOH loãng và HNO_3 đậm đặc để loại bỏ lignin. Cellulose tiếp tục được ngâm với axit acetic theo Phương trình (1), sau đó phản ứng với acetic anhydride để axetyl hóa thành Cellulose Acetate theo Phương trình (2). Màng lọc nước được hình thành với bước hòa tan Cellulose Acetate trong acetone, đồng thời thêm CaCO_3 và glycerol, khuấy đều rồi tráng màng trên kính. Màng lọc nước dạng xấp thu được sau khi dung môi được bay hơi, màng được rửa bằng axit và nước để loại bỏ CaCO_3 cùng glycerol (Hình 1).

Hình 1. Màng lọc được tổng hợp từ giấy thải





2.2. Phương pháp lọc theo mề đánh giá hiệu suất màng

Mô hình lọc theo mề hoạt động bằng động lực áp suất tĩnh ở nhiệt độ phòng. Tấm màng tiết diện 28,3 cm² được cố định vào module lọc đĩa áp suất. 500 mL mẫu nước sông được tiến hành lọc như Hình 2.

2.3. Phương pháp xác định đặc tính màng và phân tích chất lượng nước

Độ dày của tấm màng được xác định bằng thước đo vi cấp điện tử (Micrometer, Mitutoyo, Nhật Bản) thông qua giá trị trung bình tại 5 vị trí ngẫu nhiên trên bề mặt màng. Chất lượng mẫu nước trước và sau khi lọc được phân tích theo các phương pháp tiêu chuẩn chuẩn hóa (SMEWW) đã được ghi nhận trong QCVN 40:2025/BTNMT. Hiệu suất loại bỏ (R, %) các chất ô nhiễm (COD, TSS, độ đục, độ màu) của màng lọc được tính toán theo Phương trình (3) với C₀, C_t lần lượt là nồng độ chỉ tiêu ô nhiễm ở thời điểm trước và sau khi lọc.

$$R(\%) = \left(1 - \frac{C_t}{C_0}\right) \times 100 \quad (3)$$

3. Kết quả và thảo luận kết quả nghiên cứu

3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng CA tinh khiết đến hiệu suất xử lý COD

Ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn giữa CA tinh khiết và CA tổng hợp từ giấy tái chế nhằm tối ưu hóa cấu trúc màng lọc đã được khảo sát. Thí nghiệm được thực hiện với thời gian lọc 4 giờ và nồng độ COD ban đầu của nước sông Sài Gòn là 61,15 mg/L. Bảng 1 cho thấy khi tăng hàm lượng CA tinh khiết từ 60% lên 70% khối lượng, hiệu suất loại bỏ COD tăng mạnh từ 25% lên 60%, tương ứng với nồng độ COD sau lọc giảm từ 45,86 mg/L xuống còn 24,46 mg/L. Sự cải thiện vượt bậc này là do việc bổ sung CA thương mại tinh khiết với độ dài mạch polymer đồng đều và không chứa tạp chất đã giúp gia cố liên kết ma trận polymer. Sự liên kết chặt chẽ này khắc phục được nhược điểm chuỗi polymer ngắn của nguồn CA tái chế, đồng thời tạo điều kiện cho quá trình phân tán chất tạo lỗ CaCO₃ diễn ra đồng đều, từ đó hình thành cấu trúc lỗ xốp ổn định và nâng cao khả năng lọc cơ học đối với các hợp chất hữu cơ. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng hàm lượng CA tinh khiết từ 70% lên 100%, hiệu suất xử lý COD chỉ dao động nhẹ và tiệm cận trạng thái bão hòa trong khoảng từ 60% đến 70%. Hiện tượng này chỉ ra ở tỷ lệ 70% CA tinh khiết, cấu trúc hình thái học và phân bố kích thước lỗ xốp của màng lọc đã đạt trạng thái tối ưu. Việc gia tăng thêm lượng polymer tinh khiết sau ngưỡng này không làm thay đổi đáng kể cấu trúc xốp mà còn làm tăng chi phí nguyên liệu. Do đó, màng phối trộn chứa 70% CA tinh khiết và 30% CA tái chế được lựa chọn là cấu hình tối ưu để đảm bảo tính kinh tế và hiệu quả kỹ thuật cho hệ thống.

Bảng 1. Ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn CA đến hiệu suất xử lý

% khối lượng	60	70	75	80	90	100
COD (mg/L)	45.86	24.46	24.46	21.4	18.34	18.34
Hiệu suất (%)	25	60	60	65	70	70

Hình 2. Mô hình lọc theo mề



3.2. Ảnh hưởng của độ dày tấm màng đến hiệu suất lọc chất ô nhiễm

Độ dày màng là thông số vật lý quyết định trực tiếp đến trở lực dòng và chiều dài đường dẫn khuếch tán trong cấu trúc xốp. Trong phần nghiên cứu này, ảnh hưởng của 3 cấp độ dày màng bao gồm màng mỏng (105 μm), màng vừa (130 μm) và màng dày (185 μm) đến khả năng xử lý COD, độ đục và độ màu được khảo sát chi tiết với màng CA 70% tinh khiết ở điều kiện pH 6,5 và thời gian lọc 4 giờ. Bảng 2 cho thấy, hiệu suất xử lý của màng đối với các chất ô nhiễm biến thiên rõ rệt theo xu hướng hình parabol, thể hiện tính 2 mặt của thông số độ dày và xác lập một giá trị vận hành tối ưu. Ở cấu hình màng mỏng có độ dày 105 micromet, hệ thống đạt hiệu suất loại bỏ COD là 60% với nồng độ COD sau lọc còn lại là 23,3 mg/L, đồng thời giảm độ đục xuống còn 0,007 NTU và độ màu đạt 0,006 Pt-Co. Hiệu quả lọc đạt trạng thái lý tưởng nhất khi chuyển sang cấu hình màng vừa có độ dày 130 μm .

Tại đây, nghiên cứu ghi nhận hiệu suất loại bỏ COD đạt giá trị cực đại là 75,1% với nồng độ COD giảm sâu xuống mức 14,5 mg/L, đồng thời độ đục và độ màu cũng đạt các giá trị tinh khiết thấp nhất lần lượt là 0,005 NTU và 0,004 Pt-Co. Ngược lại, khi độ dày màng vượt quá ngưỡng tối ưu và tăng lên mức 185 μm ở cấu hình màng dày, hiệu suất xử lý COD lại tụt giảm đáng kể xuống chỉ còn 50%, kéo theo nồng độ COD tăng ngược lại lên mức 29 mg/L, trong khi độ đục và độ màu cũng tăng lên tương ứng là 0,012 NTU và 0,007 Pt-Co. Kết quả này có khuynh hướng tương tự với các nghiên cứu khác khi tham khảo cùng quy trình tạo màng. Bởi khi tấm màng mỏng, chiều dài đường dẫn của các lỗ xốp tương đối ngắn dẫn đến một lượng nhỏ chất hữu cơ kích thước nhỏ dễ dàng bị cuốn trôi xuyên qua màng dưới áp suất lọc, từ đó giới hạn hiệu suất xử lý tổng thể. Độ dày trung bình này đã tạo ra sự cân bằng hoàn hảo giữa trở lực thủy động và chiều dài đường dẫn khuếch tán, giúp giữ lại tối đa các hạt keo và hợp chất hữu cơ lơ lửng nhờ cơ chế rây vật lý ổn định. Nguyên nhân của sự suy giảm này xuất phát từ việc lớp dung dịch dopes đúc màng quá dày làm tăng mật độ nén ép của các chuỗi polymer ở tầng dưới trong quá trình đảo pha, gây ra hiện tượng bít nghẹt hoặc thu hẹp các lỗ xốp. Đồng thời, trở lực thủy động tăng cao thúc đẩy nhanh quá trình phân cực nồng độ trên bề mặt màng, tích tụ chất bẩn nhanh chóng và gây ra hiện tượng nghẹt màng nghiêm trọng, làm cản trở lưu thông và làm giảm khả năng lọc sạch của hệ thống trong quá trình vận hành.

Bảng 2. Ảnh hưởng của độ dày màng đến hiệu suất xử lý

Tên gọi màng	Ban đầu	Mỏng	Vừa	Dày
Độ dày màng	-	105 μm	130 μm	185 μm
Độ đục (NTU)	0.056	0.007	0.005	0.012
Độ màu (Pt-Co)	0.025	0.006	0.004	0.007
COD (mg/L)	58.18	23.3	14.5	29
Hiệu suất xử lý COD	0%	60%	75.1%	50%

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện thành công quy trình tổng hợp vật liệu CA từ nguồn giấy báo tái chế phế liệu và ứng dụng chế tạo màng lọc polymer có cấu trúc lỗ xốp ở điều kiện nhiệt độ phòng. Các kết quả thực nghiệm chứng minh cấu hình độ dày của màng và hàm lượng CA tinh khiết phối trộn đóng vai trò quyết định đến hiệu suất xử lý chất ô nhiễm. Trong đó, màng lọc sử dụng tỷ lệ phối trộn 70% CA tinh khiết

thương mại và 30% CA tái chế, kết hợp với độ dày màng trung bình (130 μm), mang lại hiệu quả xử lý tối ưu nhất đối với nước sông Sài Gòn. Nước sau lọc đạt tiêu chuẩn cột A theo QCVN 40:2025/BTNMT đối với các chỉ tiêu COD, TSS, độ đục và độ màu, khẳng định tính khả thi của giải pháp công nghệ này. Nhằm tối ưu hóa giá trị kinh tế và nâng cao tính bền vững của giải pháp, các định hướng cải tiến tiếp theo cần tập trung vào việc tối ưu hóa cấu trúc màng để tăng cường khả năng lọc và thử nghiệm quy trình điều chỉnh tỷ lệ phối trộn trên nhiều nguồn cellulose sinh khối khác nhau. Việc nghiên cứu nâng cao hàm lượng CA tái chế lên mức 50% khối lượng hay giảm tỷ lệ polyme tinh khiết thương mại xuống 50% là cần thiết để hạ giá thành sản xuất màng lọc ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Trần Đức Dũng, Nguyễn Đức Thiện, Nguyễn Thế Tùng Lâm, Nguyễn Quốc Quân, Phạm Đăng Mạnh Hồng Luân. (2022). Đánh giá và dự báo chất lượng nước các kênh, rạch, sông, suối trên địa bàn tỉnh Bình Dương. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 735(3), 12-25.
- Nguyễn Văn Hồng, Nguyễn Như Tuệ, Vũ Thị Hiền. (2023). Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước mặt sông Sài Gòn - Đồng Nai. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 755(1), 107-114.
- Robert Bain, Ryan Cronk, Rifat Hossain, Sophie Bonjour, Kyle Onda, Jim Wright, Hong Yang, Tom Slaymaker, Paul Hunter, Annette Prüss-Ustün, Jamie Bartram. (2014). Global assessment of exposure to faecal contamination through drinking water based on a systematic review. *Tropical Medicine & International Health*, 19(8), 917-927.
- Seda Saki, Nigmet Uzal. (2018). Preparation and characterization of PSF/PEI/CaCO₃ nanocomposite membranes for oil/water separation. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(25), 25315-25326.
- Adrian Kaiser, Wendelin J. Stark, Robert N. Grass. (2017). Rapid Production of a Porous Cellulose Acetate Membrane for Water Filtration using Readily Available Chemicals. *Journal of Chemical Education*, 94(4), 483-487.
- Guimes Rodrigues Filho, Douglas Santos Monteiro, Carla da Silva Meireles, Rosana Maria Nascimento de Assunção, Daniel Alves Cerqueira, Hernane Silva Barud, Sidney J.L. Ribeiro, Younes Messadeq. (2008). Synthesis and characterization of cellulose acetate produced from recycled newspaper. *Carbohydrate Polymers*, 73(1), 74-82.