

Đánh giá tiềm năng ứng dụng công nghệ MBR cho xử lý nước thải nhiễm dầu ở Việt Nam

Đỗ Khắc Uẩn¹, Chu Xuân Quang², Trần Hùng Thuận^{2*}

¹ Viện KH&CN Môi trường, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

² Trung tâm Công nghệ Vật liệu, Viện Ứng dụng Công nghệ, Bộ KH&CN

Ngày nhận bài 16.1.2015, ngày chuyển phản biện 20.1.2015, ngày nhận phản biện 27.2.2015, ngày chấp nhận đăng 3.4.2015

Nước thải nhiễm dầu (NTND) phát sinh từ nhiều hoạt động khác nhau như khai thác dầu, tinh chế dầu, công nghiệp hóa dầu, gia công kim loại, hoặc sửa chữa, vệ sinh các phương tiện cơ giới... Loại nước thải này là một trong những nguồn thải có nguy cơ gây ô nhiễm môi trường lớn do có chứa nhiều thành phần chất ô nhiễm khó phân hủy. Bên cạnh đó, do dầu mỡ trong nước thải thường ảnh hưởng không có lợi đối với vi sinh vật nên các phương pháp sinh học thông thường không đạt được hiệu quả xử lý cao. Trong những năm gần đây, công nghệ màng lọc sinh học (MBR) đã được áp dụng rộng rãi để xử lý nước thải của nhiều lĩnh vực công nghiệp. Do vậy, việc phân tích, đánh giá những ưu điểm và hạn chế của công nghệ này thông qua các công trình nghiên cứu đã được công bố sẽ góp phần thúc đẩy phát triển công nghệ để xử lý NTND phù hợp điều kiện Việt Nam. Nội dung chính của bài báo tập trung vào các vấn đề về vận hành hệ thống, nguy cơ tắc nghẽn màng lọc trong quá trình vận hành và các biện pháp kiểm soát hiện tượng này, cũng như vấn đề chi phí liên quan đến công nghệ MBR.

Từ khóa: chất thải nguy hại, công nghệ sinh học kết hợp lọc màng, nước thải nhiễm dầu.

Chỉ số phân loại 2.7

THE MBR TECHNOLOGY FOR TREATMENT OF OILY WASTEWATER: APPLICATION FEASIBILITY IN VIETNAM

Summary

Oily wastewater generated from many popular activities such as crude oil exploitation, oil refining, metal processing, washing mechanized vehicles, etc., is one of the sources of serious environmental pollution. Treatment of oily wastewater using the activated sludge process only is not really effective due to its toxic and refractory characteristics. Recently, membrane bioreactor (MBR) technology has been widely applied in treating various kind of industrial wastewater and promises to be a potential solution. In this paper, the feasibility of applying the MBR technology to treat oily wastewater has been analysed. The discussions are mainly focused on the operational characteristics, fouling characteristics, fouling control strategies, and costs of the MBR technology in the treatment of these types of wastewater. It is expected to provide useful information for researchers and engineers in development of this novel technology in Vietnam, especially to treat oily wastewater.

Keywords: hazardous waste, membrane bioreactor technology, oily wastewater.

Classification number 2.7

Đặt vấn đề

NTND có thành phần rất phức tạp và có nồng độ các chất khó phân hủy sinh học như dầu mỡ, amin, phenol, hydro cacbon mạch vòng và các dẫn xuất rất cao [1-3]. Loại nước thải này phải được xử lý trước khi thải vào môi trường, nếu không các thành phần của chúng sẽ gây ô nhiễm nặng cho các nguồn tiếp nhận như nước biển, sông, hồ và đất [4, 5].

Các phương pháp thông dụng để xử lý NTND như phân tách bằng phương pháp trọng lực, tuyển nổi, đông keo tụ, hấp phụ... đều có hạn chế như hiệu suất thấp, chi phí vận hành cao và có thể gây ăn mòn [6, 7]. Ngoài ra, hầu hết các phương

*Tác giả chính; Tel: 04.35545023; Email: ththuan@most.gov.vn

pháp thông thường này không tách được các hạt dầu phân tán ở dạng kích thước nhỏ cỡ micromet. Quá trình bùn hoạt tính truyền thống (BHT) thường được sử dụng để phân hủy các hợp chất hữu cơ trong nước thải do phương pháp này rẻ tiền và đạt hiệu quả tương đối cao. Hiện nay, NTND cũng đã được xử lý bằng quá trình BHT có kèm theo công đoạn tiền xử lý phân tách dầu [8]. Tuy nhiên, NTND thường có hàm lượng N và P thấp, nên quá trình BHT không thể vận hành hiệu quả và vấn đề bùn nổi trong hệ thống cũng thường xảy ra [9]. Bên cạnh đó, hàm lượng muối cao trong NTND còn có thể gây ảnh hưởng đến hoạt động của BHT và có thể làm tăng khả năng tự phân hủy của bùn. Ở Việt Nam, NTND cũng thường được xử lý theo các phương pháp truyền thống như đông keo tụ, lắng, hoặc tuyển nổi, sau đó qua xử lý sinh học yếm khí, hiếu khí. Nhìn chung, hiệu quả xử lý của các công nghệ này đạt mức thấp [10, 11].

Trong những năm gần đây, công nghệ MBR đã thu hút được nhiều nghiên cứu và ứng dụng trong xử lý nước thải [12-14]. Công nghệ MBR có nhiều ưu điểm so với công nghệ BHT, đó là chất lượng nước sau xử lý rất tốt, có thể tái sử dụng; diện tích mặt bằng của trạm xử lý nhỏ; lượng bùn thải thấp và rất linh động trong quá trình nâng cấp, mở rộng các hệ thống sẵn có [1, 14]. Cho đến thời điểm này, công nghệ MBR đã được ứng dụng để xử lý nhiều loại nước thải công nghiệp như chế biến thực phẩm, giấy và bột giấy, dệt nhuộm, thuộc da, nước rỉ rác và nước thải dược phẩm [15-18]. Trong khi đó, thông tin về xử lý NTND bằng công nghệ MBR mới bắt đầu được công bố và bước đầu đã cho thấy có những ưu điểm so với một số phương pháp xử lý khác [19-21]. Tuy nhiên, ứng dụng công nghệ MBR để xử lý nước thải nói chung và xử lý NTND nói riêng còn khá mới mẻ ở Việt Nam. Vì vậy, việc so sánh, phân tích các nghiên cứu hiện nay trên thế giới về ứng dụng công nghệ này để xử lý NTND là rất cần thiết, nhằm rút ra các thông tin quan trọng để từng bước áp dụng công nghệ MBR cho xử lý NTND ở nước ta trong tương lai. Bài báo được thực hiện nhằm cung cấp các thông tin tổng quan về công nghệ MBR dùng cho xử lý NTND, các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình xử lý, khả năng ứng dụng, các điều kiện vận hành và các chi phí liên quan đến công nghệ MBR cũng được tập trung trình bày và thảo luận.

Nội dung nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích tổng quan đã được sử dụng để đánh giá tiềm năng ứng dụng công nghệ MBR xử lý NTND ở Việt Nam dựa trên các tài liệu nghiên cứu kỹ thuật, công nghệ được lựa chọn:

- Các bài báo đăng tải trên các tạp chí chuyên ngành và sách tham khảo điển hình về công nghệ MBR nói chung và ứng dụng MBR để xử lý NTND nói riêng.

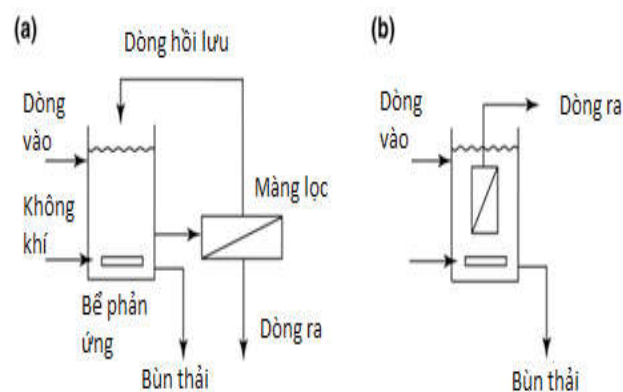
- Các tài liệu tham khảo được thu thập, cập nhật theo tiến trình thời gian và tổng hợp, phân tích theo cơ sở lý luận về đặc trưng nguồn thải, điều kiện xây dựng hệ thống xử lý, các thông số vận hành cơ bản...

- Tổng hợp, phân tích và so sánh góp phần cung cấp các luận chứng khoa học cần thiết cho việc nghiên cứu định hướng ứng dụng công nghệ MBR để xử lý NTND trong điều kiện kinh tế - kỹ thuật ở Việt Nam.

Kết quả

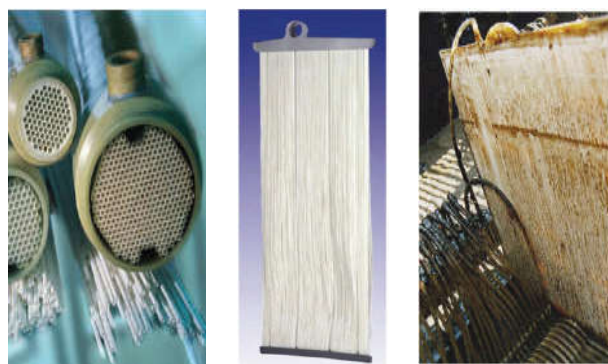
Hệ thống MBR

Hình 1 biểu diễn 2 dạng lắp đặt chính của hệ thống MBR. Hình 1a là hệ thống MBR có màng lắp bên ngoài bể xử lý sinh học. Hỗn hợp bùn - nước thải được bơm qua đơn nguyên màng lọc, một phần nước trong sẽ được đưa ra ngoài và một phần bùn sẽ tuần hoàn lại bể. Hình 1b biểu diễn hệ thống MBR có màng lọc đặt nhúng chìm bên trong bể xử lý sinh học. Trong hệ thống này, hệ thống phân phối khí được lắp đặt bên dưới đơn nguyên màng nhằm thực hiện hai nhiệm vụ cung cấp oxy cho quá trình xử lý sinh học và đảo trộn hỗn hợp nước thải để giảm hiện tượng tắc màng [16]. Hiện nay, hệ thống MBR màng lọc đặt nhúng chìm thường được lựa chọn để xử lý nước thải [13, 15].



Hình 1: các dạng lắp đặt hệ thống MBR: (a) màng đặt ngoài
(b) màng đặt nhúng chìm

Màng vi lọc (MF) và siêu lọc (UF) thường được dùng trong công nghệ MBR xử lý nước thải công nghiệp. Các loại màng có thể ở dạng ống, dạng sợi rỗng hoặc dạng tấm phẳng (hình 2). Vật liệu chế tạo màng có thể được chia làm ba nhóm chính: polyme, kim loại, vô cơ (gốm xốp). Màng chế tạo bằng kim loại và gốm xốp có độ bền cao và có thể rửa ngược để giảm hiện tượng tắc màng [22]. Tuy nhiên, loại màng này đắt hơn các loại màng polyme như polyvinylidene fluoride (PVDF), polyethersulfone (PES), polyethylene (PE) và polysulfone (PSf). Cho nên, hiện nay các loại màng polyme được dùng phổ biến nhất. Kích thước lỗ của màng thường nằm trong khoảng 0,01 đến 0,45 μm [23]. Trong quá trình vận hành, MBR thường sử dụng hai phương thức: vận hành lọc liên tục và vận hành gián đoạn. Phương thức vận hành gián đoạn cho thấy có ưu việt hơn so với vận hành liên tục trong việc kiểm soát hiện tượng tắc màng lọc [24]. Năng suất lọc thường dao động trong khoảng 25 đến 140 $\text{l/m}^2/\text{h}$ đối với dạng màng lọc lắp bên ngoài và khoảng từ 3,7 đến 85 $\text{l/m}^2/\text{h}$ đối với màng lọc đặt nhúng chìm.



Hình 2: các dạng màng dùng trong hệ thống MBR:
(a) dạng ống, (b) dạng sợi rỗng, (c) dạng tấm phẳng

Đặc trưng của NTND

Mặc dù NTND có thành phần phức tạp, nhưng đặc trưng của chúng có thể được biểu diễn thông qua các thông số cơ bản như COD, BOD, SS, NH_4^+-N , TN, TP, kim loại nặng, pH, độ màu, độ đục... Các đặc trưng cơ bản của NTND được tổng hợp và trình bày trong bảng 1.

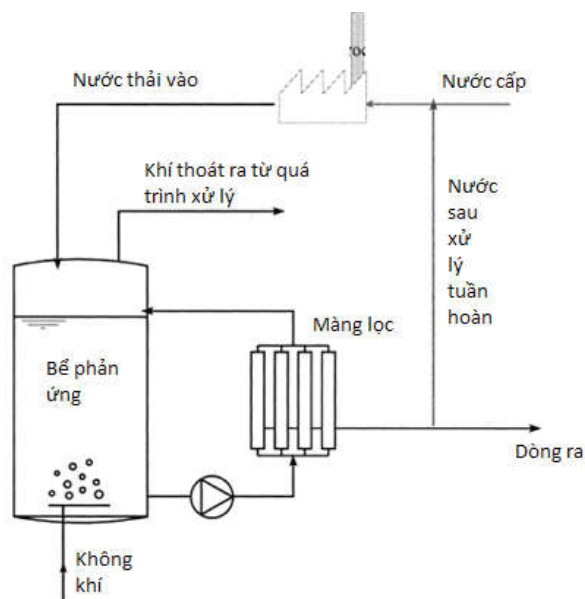
Bảng 1: các đặc trưng cơ bản của các nguồn NTND [1, 6, 25-30]

Thông số	Đơn vị	Các nguồn nước thải nhiễm dầu (tham khảo từ nhiều nguồn tài liệu)							
		[1]	[6]	[25]	[26]	[27]	[28]	[29]	[30]
pH	-	-	6,5-6,8	2,5-2,7	7,8-8,8	-	-	-	11,5
Nhu cầu oxy hóa học (COD)	(mg/l)	72-296	500-1000	55000-60000	250-613	4345-6864	124	280-215	22250
Nhu cầu oxy sinh học (BOD)	(mg/l)	90-188	-	30000-32000	-	919-1360	52	112-119	-
Cặn rắn lơ lửng (SS)	(mg/l)	245-950	90-300	20-300	108-159	253-889	60	-	613
Amoni (NH_4^+-N)	(mg/l)	12,1-19,8	-	-	56,0-125,0	-	-	13,5-19,0	-
Tổng phốt pho (TP)	(mg/l)	0,8-3,0	-	102,0-227,0	0,5	-	-	5,0	-
Dầu mỡ	(mg/l)	20-87	400-1000	360	35-55	-	78	17	641

Bảng 1 cung cấp các thông tin hữu ích để tham khảo cho việc tính toán thiết kế hệ thống MBR. Các thông số cho thấy NTND có mức độ ô nhiễm rất cao, đặc biệt chứa thành phần các hợp chất hydrocacbon và dầu mỡ lớn. Các thành phần này có đặc tính khó phân hủy sinh học và có thể gây ức chế vi sinh vật trong hệ thống xử lý. Các phương pháp xử lý nước thải truyền thống thường không thể xử lý triệt để các hợp chất hydrocacbon khó phân hủy sinh học này [31]. Do đó, việc nghiên cứu và phát triển các phương pháp xử lý tiên tiến sẽ đóng vai trò quan trọng để xử lý NTND. Yêu cầu ngày càng khắt khe về tiêu chuẩn nước thải sau xử lý cũng là một yếu tố thúc đẩy việc ứng dụng công nghệ MBR xử lý NTND, đảm bảo dòng sau xử lý đạt chất lượng cao.

Xử lý NTND bằng công nghệ MBR

Bản chất của công nghệ MBR chính là dạng cải tiến của công nghệ BHT, trong đó quá trình bùn hoạt tính được thực hiện theo nguyên tắc thông thường và sinh khối được tách bằng màng lọc. Do hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm cao và giữ lại hoàn toàn sinh khối trong bể nên công nghệ MBR sẽ có tiềm năng rất lớn để ứng dụng cho các mục đích xử lý nước thải công nghiệp nói chung và NTND nói riêng [31]. Hệ thống MBR (hình 3) dùng trong nghiên cứu này là dạng màng lọc (UF, dạng ống) đặt bên ngoài bể xử lý sinh học.



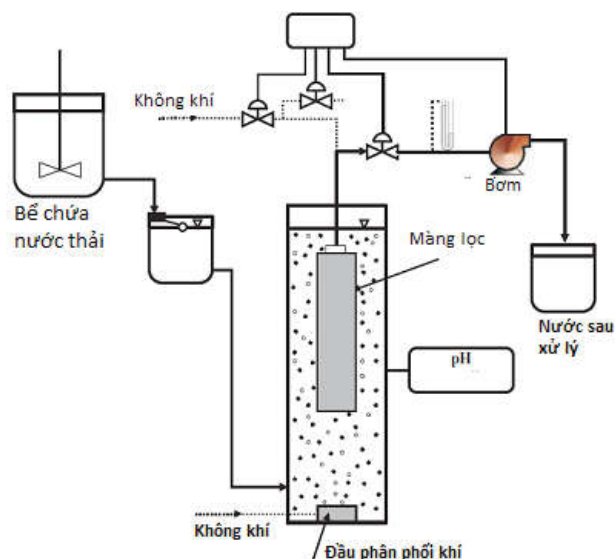
Hình 3: sơ đồ hệ thống MBR xử lý NTND [31]

Trong nghiên cứu này, hiệu quả xử lý dầu đạt 99,9% ở điều kiện thời gian lưu (HRT) là 13,3 giờ, COD dòng vào 500-1000 mg/l. Chất lượng nước sau xử lý rất cao nên có thể tái sử dụng cho các mục đích khác nhau. Các kết quả cho thấy, công nghệ MBR làm tăng quá trình phân hủy sinh học các chất ô nhiễm và cải thiện chất lượng nước sau xử lý.

Nguồn nước thải từ trạm tinh chế khí có thành phần dầu cao và thường tách không triệt để nếu dùng phương pháp trọng lực thông thường. Một nghiên cứu đã tiến hành xử lý nước thải này bằng công nghệ MBR [32]. Hình 4 biểu diễn sơ đồ thí nghiệm trong nghiên cứu này. Các kết quả thu được cho thấy, hệ thống MBR có thể đạt hiệu quả xử lý cao và rất ổn định cho dù dòng vào có sự biến động lớn. Các điều kiện vận hành tối ưu xác định được từ nghiên cứu này với HRT 4 giờ và tải trọng xử lý dầu đạt 1,8 kg/m³/ngày.

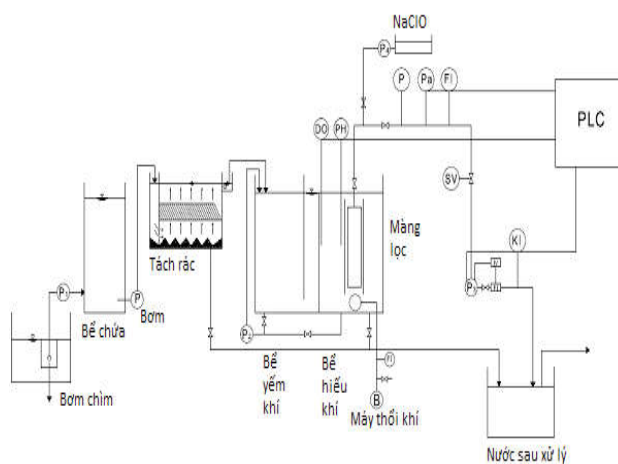
Một nghiên cứu quan trọng khác là sử dụng công nghệ MBR để xử lý NTND từ nhà máy chế tạo động cơ ô tô [27]. Sau quá trình xử lý, hiệu suất xử lý COD, dầu, phenol thu được đều đạt trên 90%. Mặc dù hầu hết các nghiên cứu áp dụng công nghệ xử lý hiếu khí MBR và cho thấy hiệu suất xử lý COD rất cao, nhưng việc ứng dụng công nghệ yếm khí MBR cũng có những ưu việt nhất định [33]. Ví dụ, tải trọng hữu cơ (OLR) có thể lên đến 25 kg/m³/ngày và COD trong dòng ra

thường thấp hơn 500 mg/l, tương ứng với hiệu suất xử lý COD đạt trên 97%. Trong khi đó, OLR đối với quá trình hiếu khí thường chỉ khoảng 0,5-3 kg/m³/ngày.



Hình 4: sơ đồ hệ thống MBR dùng màng lọc trong nghiên cứu

Quá trình lai ghép giữa công nghệ yếm khí, hiếu khí với MBR cũng đã được nghiên cứu để xử lý NTND [1]. Sơ đồ thí nghiệm được biểu diễn trên hình 5. Các kết quả thu được cho thấy, hiệu suất xử lý COD, BOD rất ổn định và trung bình đạt trên 92%. Hiệu suất xử lý NH₄⁺-N, dầu, độ đục lần lượt đạt 93,7%, 75,3% và 94,6%. Hiệu quả xử lý TP, TSS, SS và phenol đạt lần lượt trên 98,5%, 97,9%, 93,8% và 99,9%. Các kết quả chứng tỏ rằng, công nghệ MBR có thể xử lý NTND đạt hiệu quả rất cao.



Hình 5: sơ đồ hệ thống A/O MBR dùng trong nghiên cứu

Điều kiện về thời gian lưu thủy lực và thời gian lưu bùn

Nhìn chung, NTND chứa hàm lượng các chất hữu cơ rất cao nên hệ thống MBR cũng cần phải kéo dài HRT để đảm bảo đạt hiệu quả xử lý cao. Đối với việc xử lý NTND bằng yếm khí MBR, giá trị HRT thường được duy trì từ 2-10 ngày, còn đối với hệ thống hiếu khí MBR, giá trị HRT thường từ 0,5-3 ngày [1]. Thời gian lưu bùn (SRT) cũng là một thông số vận hành quan trọng. Hệ thống MBR thường được vận hành với SRT lớn và tỷ lệ cơ chất/sinh khối (F/M) thấp để giảm bùn thải phát sinh. Tuy nhiên, khi tăng SRT sẽ làm tăng hỗn hợp bùn - nước thải (MLSS) trong bể và có thể gây ảnh hưởng đến vấn đề tắc màng lọc và có thể làm giảm hoạt tính của bùn [18]. Khoảng SRT thích hợp đối với hệ thống MBR thường từ 20-50 ngày. Các giá trị này cũng phụ thuộc vào HRT và đặc trưng của dòng vào. Đối với hệ thống MBR, hàm lượng MLSS thường được duy trì trong khoảng 12000-15000 mg/l [17].

Điều kiện về pH và nhiệt độ vận hành

Hầu hết các hệ thống MBR đều vận hành ở khoảng pH trung tính. Tuy nhiên, từ bảng 1 cho thấy, pH của các loại NTND có thể dao động khá lớn. Do đó, để xử lý đạt hiệu quả thì cần phải có quá trình ổn định và trung hòa pH của nước thải. Đối với hệ thống BHT khi pH > 12 có thể gây ảnh hưởng lớn đến hoạt động của sinh khối [28]. Do vậy, khoảng giá trị pH này cũng có khả năng ảnh hưởng lớn đến hoạt động của vi khuẩn trong các hệ thống MBR. Các hệ thống MBR hiếu khí thường vận hành ở khoảng nhiệt độ thường (20-30°C), trong khi đó các hệ thống MBR yếm khí lại thường vận hành ở nhiệt độ cao hơn, từ 30-40°C. Nhiệt độ tăng có thể ảnh hưởng đến hiệu quả xử lý các chất hữu cơ. Tuy nhiên, các hệ thống MBR vận hành ở khoảng nhiệt độ cao lại cho thấy có sự suy giảm về năng suất lọc do năng suất lọc có mối quan hệ tỷ lệ nghịch với độ nhớt của hỗn hợp nước thải [18, 29]. Do đó, cần lưu ý đến việc tăng năng suất lọc khi vận hành hệ thống ở khoảng nhiệt độ cao.

Phương thức kiểm soát hiện tượng tắc nghẽn màng lọc

Hiện tượng tắc màng lọc là một trong những nhược

điểm lớn nhất ngăn cản việc áp dụng công nghệ MBR trong xử lý nước thải. Về cơ bản, hiện tượng tắc màng có thể gây ra bởi các lỗ mao quản bị bít kín bởi các hạt keo, bởi sự hấp phụ của các hợp chất hòa tan và các vi khuẩn, sự bám dính của bùn trên bề mặt màng lọc [30]. Tất cả các thông số liên quan đến thiết kế và vận hành hệ thống MBR đều có thể ảnh hưởng đến vấn đề tắc màng. Các thông số này có thể chia làm bốn nhóm đặc trưng: dòng thải, bùn hoạt tính, màng lọc và điều kiện vận hành [31]. Việc tối ưu quá trình thiết kế thiết bị cũng giúp ích cho việc kiểm soát hiện tượng tắc màng, ví dụ tối ưu quá trình sục khí, các bọt khí mịn và thô có khả năng kiểm soát vấn đề tắc màng [32].

Chi phí cho hệ thống MBR

Chi phí chung cho hệ thống MBR là tổng chi phí đầu tư, vận hành và bảo dưỡng. Chi phí đầu tư chủ yếu bao gồm chi phí cho màng lọc, xây dựng bể phản ứng, thiết bị máy móc. Chi phí vận hành bao gồm năng lượng tiêu tốn, xử lý bùn thải và hóa chất dùng để rửa màng lọc. Chi phí bảo dưỡng chủ yếu liên quan đến việc thay thế màng lọc. Chi phí liên quan đến năng lượng tiêu tốn, xử lý và thải bỏ bùn thải đối với hệ thống MBR lần lượt có thể lên đến 79,6%, 17,9% và 2,5% tổng chi phí vận hành [33]. Năng lượng tiêu tốn ước tính khoảng 0,2-2,4 kWh/m³ và riêng năng lượng cho quá trình sục khí có thể chiếm đến 80% tổng năng lượng tiêu tốn [17]. Tốc độ sục khí và năng suất lọc màng ảnh hưởng rất lớn đến chi phí vận hành [21]. Do vậy, việc nghiên cứu tối ưu giữa năng suất lọc và quá trình sục khí là một yêu cầu cơ bản cho quá trình thiết kế và vận hành hệ thống MBR. Màng lọc cũng chiếm một tỷ lệ chi phí lớn trong các hệ thống MBR. Chi phí đầu tư màng có thể chiếm 25-50% tổng chi phí đầu tư, trong đó, chi phí thay thế màng chiếm khoảng 25-33% tổng chi phí vận hành và bảo dưỡng màng lọc [18]. Nhìn chung, do phải đầu tư thêm màng lọc nên chi phí của công nghệ MBR thường cao hơn so với các công nghệ BHT. Tuy nhiên, tuổi thọ của màng có thể lên đến 11 năm [32] nên chi phí thay thế màng sẽ giảm đáng kể. Ngoài ra, giá thành màng lọc có xu hướng giảm trong thập kỷ gần đây. Năm 1992, giá màng lọc ước tính khoảng 400 USD/m², đến năm 2005, giá màng lọc giảm xuống còn dưới 50 USD/m² [33]. Giá thành

màng lọc giảm là một yếu tố quan trọng để mở rộng ứng dụng công nghệ MBR cho xử lý nước thải.

Kết luận

Dựa vào các thông tin đánh giá từ nhiều nguồn tài liệu khác nhau cho thấy, công nghệ MBR là một công nghệ có tiềm năng và triển vọng lớn áp dụng cho xử lý NTND. Quá trình xử lý có thể thực hiện bằng hệ thống MBR lắp đặt màng bên ngoài hoặc nhúng chìm trong bể phản ứng. Sử dụng công nghệ MBR xử lý NTND hoàn toàn có khả năng đảm bảo nước sau xử lý đạt chất lượng rất cao, đáp ứng được yêu cầu ngày càng khắt khe của các quy định và tiêu chuẩn thải. Tuy nhiên, công nghệ MBR vẫn còn phải đối mặt với nhiều trở ngại khi áp dụng để xử lý NTND. Trong đó, việc áp dụng các biện pháp kiểm soát vấn đề tắc màng lọc sẽ kéo theo các chi phí và các vấn đề phát sinh liên quan đến vận hành, tiêu tốn năng lượng của hệ thống MBR. Vì vậy, để có thể mở rộng khả năng ứng dụng của công nghệ MBR dùng cho xử lý NTND, việc tối ưu hóa các thông số kỹ thuật và hiệu quả vận hành của hệ thống cần tiếp tục được nghiên cứu. Ngoài ra, hiện nay có rất ít nghiên cứu đánh giá về khía cạnh kinh tế khi áp dụng công nghệ MBR xử lý NTND, cho nên đây cũng là một vấn đề cần được đầu tư để thúc đẩy việc ứng dụng công nghệ MBR trong xử lý NTND.

Tài liệu tham khảo

- [1] Zhidong L, Na L, Honglin Z and Dan L (2009), "Study of an A/O Submerged MBR for Oil Refinery Wastewater Treatment", *Petroleum Sci Tech*, **27**, pp.1274-1285.
- [2] Selivanovskaya S.Y, Petrov A.M, Egorova K.V and Naumova R.P (1997), "Protozoan and metazoan communities treating a simulated petrochemical industry wastewater in a rotating disc biological reactor", *World J Microb Biotech*, **13**, pp.511-517.
- [3] Ting W.P, Huang Y.H and Lu M.C (2007), "Catalytic treatment of petrochemical wastewater by Fenton technologies", *React Kinet Catal Lett*, **92**, pp.41-48.
- [4] Zhao X, Wang Y, Ye Z and Ni J (2006), "Oil field wastewater treatment in BAF by immobilized microorganisms", *Process Biochem*, **41**, pp.1475-1483.
- [5] Alinezhad K, Hosseini M, Movagarnjad K and Salehi M (2010), "Experimental and modeling approach to study separation of water in crude oil emulsion under non-uniform electrical field", *Korean J Chem Eng*, **27**, pp.198-205.
- [6] Zeng Y, Yang C, Zhang J and Pu W (2007), "Feasibility investigation of oily wastewater treatment by combination of zinc and PAM in coagulation/flocculation", *J Hazard Mat*, **147**, pp.991-996.
- [7] Stringfellow W.T and Alvarez Cohen L (1999), "Evaluating the relationship between the sorption of PAHs to bacterial biomass", *Water Res*, **33**, pp.2535-2544.
- [8] Tellez G.T, Nirmalakhandan N and Gardea Torresdey J.L (2002), "Performance evaluation of an activated sludge system for removing petroleum hydrocarbons from oilfield produced water", *Adv Env Res*, **6**, pp.455-470.
- [9] Kargi F and Dincer A.R (1996), "Effect of salt concentration on biological treatment of saline wastewater by fed-batch operation", *Enz Microb Tech*, **19**, pp.529-537.
- [10] Tổng cục Môi trường (2011), *Báo cáo quan trắc và phân tích môi trường biển phía Bắc*.
- [11] Brindle K and Stephenson T (1996), "The application of membrane biological reactors for the treatment of wastewaters", *Biotech Bioeng*, **49**, pp.601-610.
- [12] Llop A, Pocurull E and Borrull F (2009), "Evaluation of the Removal of Pollutants from Petrochemical Wastewater Using A MBR Treatment Plant, Water, Air", *Soil Pol*, **197**, pp.349-359.
- [13] Mourato D, Thompson D and Penny J (2006), *Immersed membrane bioreactor for wastewater reclamation and reuse. in Membrane Technology for Wastewater Reclamation and Reuse Conference*, Tel Aviv, Israel, September 9-13.
- [14] Melin T, Jefferson B, Bixio D, Thoeve C, De Wilde W, De Koning J, van der Graaf J and Wintgens T (2006), "Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse", *Desal*, **187**, pp.271-282.
- [15] Fakhru'l-Razi A, Alireza P, Luqman C.A, Dayang R.A.B, Sayed S.M, Zurina Z.A (2009), "Review of technologies for oil and gas produced water treatment. Review of technologies for oil and gas produced water treatment", *Journal of Hazardous Materials*, **170**, pp.530-551.
- [16] Judd S (2008), "The status of membrane bioreactor technology", *Trends in Biotech*, **26**, pp.109-116.
- [17] Ersu C.B and Ong S.K (2008), "Treatment of wastewater containing phenol using a tubular ceramic membrane bioreactor", *Env Tech*, **29**, pp.225-234.
- [18] Bacchin P, Aimar P and Field R.W (2006), "Critical and sustainable fluxes: Theory, experiments and applications", *J Mem Sci*, **281**, pp.42-69.
- [19] Patel H and Madamwar D (2002), "Effects of temperatures and organic loading rates on biomethanation of acidic petrochemical wastewater using an anaerobic upflow fixed-film reactor", *Biores Tech*, **82**, pp.65-71.
- [20] Xianling L, Jianping W, Qing Y and Xueming Z (2005), "The pilot study for oil refinery wastewater treatment using a gas-liquid-solid three-phase flow airlift loop bioreactor", *Biochem Eng J*, **27**, pp.40-44.
- [21] Kim B.R, Anderson J.E, Mueller S.A, Gaines W.A, Szafranski M.J, Bremmer A.L, Yarema G.J, Guciardo C.D, Linden S and Doherty T.E (2006), "Design and Startup of a Membrane-Biological-Reactor System at a Ford-Engine Plant for Treating Oily Wastewater", *Water Env Res*, **78**, pp.362-371.

- [22] Salahi A, Abbasi M and Mohammadi T (2010), "Permeate flux decline during UF of oily wastewater: Experimental and modeling", *Desal*, **251**, pp.153-160.
- [23] Cao C.Y and Zhao Y.H (2012), "The Comparison of MBBR and ASP for Treatment on Petrochemical Wastewater", *Petroleum Sci Tech*, **30**, pp.1461-1467.
- [24] Ahmadi S, Sardari E, Katal R and Sefti M (2012), "Removal of oil from biodiesel wastewater by electrocoagulation method", *Korean J Chem Eng*, pp.1-8.
- [25] Scholz W and Fuchs W (2000), "Treatment of oil contaminated wastewater in a membrane bioreactor", *Water Res*, **34**, pp.3621-3629.
- [26] Tri P.T, Visvanathan C and Jegatheesan (2006), "Biological treatment of oily wastewater from gas stations by membrane bioreactor", *J Env Eng Sci*, **5**, pp.309-316.
- [27] P.J Van Zyl M.C.W, G.A Ekama and K.J Riedel (2008), "Design and start-up of a high rate anaerobic membrane bioreactor for the treatment of a low pH, high strength, dissolved organic waste water", *Water Sci Tech*, **57**, pp.291-295.
- [28] Han S.S, Bae T.H, Jang G.G and Tak T.M (2005), "Influence of sludge retention time on membrane fouling and bioactivities in membrane bioreactor system", *Process Biochem*, **40**, pp.2393-2400.
- [29] Chong N.M, Pai S.L and Chen C.H (1997), "Bioaugmentation of an activated sludge receiving pH shock loadings", *Biores Tech*, **59**, pp.235-240.
- [30] Visvanathan C, Choudhary M.K and Jegatheesan V (2007), "Landfill leachate treatment using thermophilic membrane bioreactor", *Desal*, **204**, pp.8-16.
- [31] Yun M.A, Yeon K.M, Park J.S, Lee C.H, Chun J and Lim D.J (2006), "Characterization of biofilm structure and its effect on membrane permeability in MBR for dye wastewater treatment", *Water Res*, **40**, pp.45-52.
- [32] Hwang B.K, Lee W.N, Yeon K.M, Drews A and Kraume M (2008), "Correlating TMP Increases with Microbial Characteristics in the Bio-Cake on the Membrane Surface in a Membrane Bioreactor", *Env Sci Tech*, **42**, pp.3963-3968.
- [33] Santos A and Judd S (2010), "The Commercial Status of Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater", *Sep Sci Tech*, **45**, pp.850-857.