

ĐÁNH GIÁ HOẠT ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG McABR TIÊN TIẾN TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI CHẾ BIẾN THỦY SẢN

PERFORMANCE ASSESSMENT OF ADVANCED McABR SYSTEM IN TREATMENT OF SEAFOOD PROCESSING WASTEWATER

Trần Minh Thảo¹, Phùng Minh Tùng¹, Đoàn Thanh Phương²

¹Trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng; Email: tmthao@dct.udn.vn

²Trường Đại học Sư phạm, Đại học Đà Nẵng; Email: phuongdoan@ued.vn

Tóm tắt - Trong nghiên cứu này, một hệ thống tiên tiến (McABR) kết hợp thiết bị kỵ khí vách ngăn (ABR) với màng lọc micro (CMF) để xử lý nước thải chế biến thủy sản. Giá thể sinh học được sử dụng để giảm hàm lượng các hợp chất polymer sinh học nhằm hạn chế cấu cặn bám trên màng lọc. Nhờ màng CMF, hiệu quả xử lý BOD, TN, và TP của hệ thống McABR tăng đến 94,0, 81,1, và 58,8% so với 80, 12,3, và 24,2% đối với hệ thống ABR truyền thống. Thời gian thích nghi chỉ còn 30 ngày. Ngoài ra, do tác dụng làm giảm cấu cặn của các giá thể vi sinh, thời gian làm việc liên tục của màng lọc là 77 ngày (khi lưu lượng đầu ra bị giảm 10%). Lượng cặn vật lý hình thành trên màng chiếm đa số (87,9%) trong khi lượng cặn hóa học nhỏ (12,1%). Kết quả này cho thấy tiềm năng rất lớn về xử lý nước thải có hàm lượng chất hữu cơ cao như nước thải chế biến thủy sản và tính bền vững trong thời gian vận hành của hệ thống McABR.

Từ khóa - kỵ khí vách ngăn; màng lọc; nước thải; polymer sinh học; cấu cặn; thông lượng.

Abstract - This study mentions an advanced system (McABR) including an anaerobic baffled reactor (ABR) combined with a microfiltration membrane (CMF) in treating seafood processing wastewater (BOD = 2500-3000 mg.L⁻¹). Bio-carriers were used to mitigate bio-polymer (EPS and SMP) content to limit fouling on membrane surface. Thanks to CMF, removal efficiencies in BOD, TN, and TP of McABR system increased up to 94.0, 81.1, and 58.8% respectively compared with those of 80, 12.3, and 24.2%, on conventional ABR. The duration for acclimatization was reduced to 30 days. Additionally, due to fouling mitigation of bio-carriers, the membrane could be operated continuously for 77 days (when the operational flux was decreased by 10%). The physical fouling on membrane occupied 87.9%, while an amount of 12.1% of chemical fouling was found. The results reveal that the McABR system has high potential in removing high organic waste water as well as maintain sustainability in operation.

Key words - anaerobic baffled reactor; membrane; wastewater; bio-polymer; fouling; flux.

1. Đặt vấn đề

Thiết bị kỵ khí vách ngăn (ABR) có nhiều ưu điểm so với các thiết bị xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học kỵ khí khác. Về mặt xây dựng và lắp đặt: thiết kế đơn giản, chi phí xây dựng và vận hành thấp. Đối với vấn đề hoạt động: tải lượng hoạt động cao, thời gian lưu ngắn, rất ổn định với những sự thay đổi đột ngột về tải lượng hữu cơ, và đặc biệt là có thể hoạt động một cách gián đoạn [1]. Sở trường của thiết bị ABR là hoạt động ở tải lượng hữu cơ cao.

Việc kết hợp màng lọc với thiết bị xử lý bằng phương pháp vi sinh (MBR) từ lâu đã được áp dụng để tránh hiện tượng thất thoát sinh khối và nâng cao hiệu quả hoạt động của thiết bị sinh học [2]. Tuy nhiên, vấn đề về chi phí đầu tư cho màng lọc và cấu cặn bám lên bề mặt màng một cách nhanh chóng vẫn còn là những rào cản rất lớn cho việc sử dụng MBR [3]. Nhiều nghiên cứu trước đây trong cả hệ thống MBR hiếu khí và kỵ khí đều cho thấy cả cặn lơ lửng (SS) và các hợp chất hữu cơ hòa tan đều tham gia vào quá trình hình thành lớp cặn trên màng lọc. Đối với tác động của SS, nghiên cứu của [4] cho thấy tồn áp qua màng lọc micro (MF) tăng tuyến tính với hàm lượng SS trong khoảng < 15 g.L⁻¹. Tương tự, kết quả từ nghiên cứu của [5] cũng cho thấy tồn áp bởi màng lọc MF tăng 50% khi hàm lượng SS trong nước cái (MLSS) thay đổi từ 0.4 đến 2,5 g.L⁻¹. Tuy nhiên, khi màng lọc hoạt động trong điều kiện MLSS rất cao, chẳng hạn 2,5-15,0 g.L⁻¹ [5] hoặc 25-50 g.L⁻¹ [6], tồn áp hầu như không khác biệt cho thấy cấu cặn bám thêm vào với tốc độ rất chậm và không đáng kể.

Tác động của các chất hữu cơ hòa tan lên quá trình hình thành cấu cặn trên màng khá phức tạp và thay đổi mạnh theo thành phần. Qua việc phân tích thành phần các chất hữu cơ hòa tan trong lớp cặn trên màng [7, 8], polymer có nguồn gốc vi sinh vật (EPS/SMP) được cho là có tác động lớn nhất lên sự tồn áp qua màng. Các polymer sinh học này đầu tiên bám vào màng lọc và sau đó thu hút các hạt khác có kích thước lớn hơn bằng các liên kết chặt chẽ và hình thành nên lớp cặn [9]. Lớp cặn tạo bởi lớp EPS/SMP rất bền và chỉ bị tẩy rửa bằng phương pháp hóa học hoặc không thể tẩy rửa được [10].

Để xử lý vấn đề cấu cặn, nhiều phương pháp đã được đề xuất và thử nghiệm, chẳng hạn chạy ngắt quãng, sục ngược, sục khí, hay khuấy trộn [3]. Tuy nhiên, các phương pháp này đều có nhược điểm là tốn năng lượng hoặc làm giảm lưu lượng xử lý. Ngoài ra, các biện pháp này chỉ làm giảm cấu cặn vật lý (là loại cặn có thể tẩy rửa bằng phương pháp vật lý) mà không làm giảm cấu cặn hóa học (là loại cặn chỉ có thể tẩy rửa bằng phương pháp hóa học).

Với việc áp dụng giá thể sinh học, một số nghiên cứu trên MBR hiếu khí cho các kết quả về lượng EPS/SMP sản sinh rất khác nhau. Chẳng hạn, trong nghiên cứu của [11], lượng SMP đo được trong hệ thống MBR có sử dụng giá thể sinh học cố định nhỏ hơn so với MBR không sử dụng giá thể sinh học. Tốc độ đóng cấu cặn trên bề mặt màng lọc sử dụng giá thể sinh học cũng được ghi nhận là thấp hơn so với trường hợp không sử dụng giá thể trong nghiên cứu của [12]. Tuy nhiên, kết quả ngược lại đã được báo cáo trong nghiên cứu của [13], trong đó MBR sử dụng giá thể lơ lửng. Kết quả từ [13] được giải thích do các giá thể lơ lửng phá vỡ các hạt bùn thành những hạt nhỏ hơn, giải phóng một lượng đáng kể

EPS ra khỏi màng sinh học (biofim), làm tăng nhanh lượng và tốc độ cấu cặn bám trên màng [14].

Sự kết hợp giữa màng lọc MF với thiết bị kỵ khí vách ngăn (McABR) rất có tiềm năng về mặt hiệu quả xử lý lần tính bền vững trong vận hành. Việc sử dụng giá thể sinh học với mục đích làm tăng hiệu quả xử lý chất hữu cơ và đặc biệt là chức năng giảm cấu cặn trên màng lọc cần được kiểm chứng.

2. Phương pháp và thiết bị

2.1. Nước thải

Nước thải nạp vào hệ thống McABR lấy từ bể thu gom của hệ thống xử lý nước thải tập trung, khu công nghiệp thủy sản Thọ Quang, Đà Nẵng. Chất lượng nước thải thể hiện trong Bảng 1 với hàm lượng chất hữu cơ và dinh dưỡng khá cao.

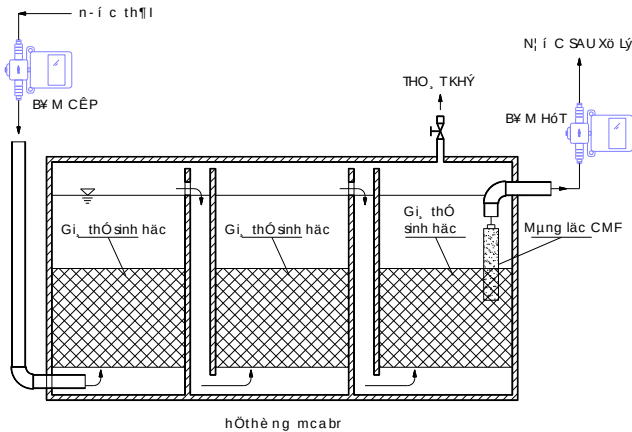
Bảng 1. Chất lượng nước thải cấp cho hệ thống McABR

STT	Thành phần	Nồng độ, mg.L ⁻¹
1	pH	6,3-7,5
2	COD	3000-3500 (3300)
3	BOD	2500-3000 (2800)
4	TN	250-310 (285)
5	TP	39-48 (43)
6	SS	450-520 (480)
7	TDS	3540-3720 (3650)

(Các giá trị trung bình biểu thị trong ngoặc đơn)

2.2. Mô hình hệ thống

Trong suốt thời gian hoạt động, hệ thống McABR được đặt tại trạm xử lý nước thải tập trung, khu công nghiệp thủy sản Thọ Quang. Hệ thống McABR bao gồm đơn nguyên ABR và màng lọc micro ceramic CMF. Đơn nguyên ABR có ba ngăn làm việc (thể tích mỗi ngăn $V_c = 12$ L) có tổng thể tích là $V_T = 36$ L. Giá thể sinh học được bỏ vào mỗi ngăn với thể tích đồ đồng là 6 L và bề mặt riêng là 1040 m².m⁻³. Màng lọc CMF gồm hai modules, mỗi module có kích thước $D \times L = 34 \times 200$ mm, được nhúng chìm trong ngăn thứ ba (ngăn cuối cùng). Tổng diện tích bề mặt của cả hai modules là $A_{CMF} = 0.043$ m². Sơ đồ hệ thống thiết bị thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống McABR

Màng lọc CMF được vận hành lần lượt qua hai chế độ: có sử dụng và không sử dụng giá thể vi sinh. Trong cả hai

chế độ vận hành, nước thải đầu vào và thông lượng hoạt động đều giống nhau.

Đầu tiên, nước thải được bơm cấp chuyển vào hệ thống McABR và lần lượt đi qua ba ngăn. Tại ngăn thứ ba, nước được dẫn đi tiếp qua màng lọc CMF bằng bơm hút để hoàn thành việc xử lý. Tại đầu ra của hệ thống, có một ống chảy tràn (không thể hiện trong Hình 1) giúp thoát nước kịp thời trong trường hợp lưu lượng qua màng giảm dần do cấu cặn hoặc sự cố bơm hút bị hỏng. Khí biogas thoát ra phía nắp trên thiết bị.

Các thông số vận hành của hệ thống McABR được nêu trong Bảng 2. Hệ thống được vận hành trong 77 ngày. Hệ thống McABR được vận hành với tải trọng BOD (L_{BOD}) rất cao. Thông lượng hoạt động của màng CMF trong hai chế độ vận hành (có và không có sử dụng giá thể vi sinh) đều là $J = 92$ L.m⁻².h⁻¹. Bùn cấp ban đầu cho hệ thống được lấy từ bể hiệu khí của nhà máy chế biến thủy sản. Bùn gần như không được lấy ra trong suốt quá trình 77 ngày hoạt động. Lượng bùn thất thoát chỉ do chảy tràn ở ngăn thứ ba.

Bảng 2. Các thông số vận hành của hệ thống McABR

STT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	HRT	h	9
2	L_{BOD}	kg.m ⁻³ .d ⁻¹	6,7-8,0
3	SRT	d	207
4	J	L.m ⁻² .h ⁻¹	92
5	A_{CMF}	m ²	0.043

2.3. Phân tích

Để theo dõi và đảm bảo hiệu quả xử lý của hệ thống McABR, một số thông số được đo trong quá trình thích nghi và ổn định: hiệu quả xử lý BOD, TN, và TP. Các phép phân tích được thực hiện dựa trên [15], tại phòng thí nghiệm Công nghệ môi trường, thuộc khoa Công nghệ Hóa học, trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng. Tại mỗi điểm phân tích, có 3 mẫu được lấy cho ra 3 kết quả phân tích để tính độ lệch chuẩn (σ). Ngoài ra, tốc độ đóng cấu cặn và tỷ lệ cặn vật lý của màng CMF cũng được đo thông qua các giá trị thông lượng J-được tính bằng công thức (1)

$$J = \frac{Q}{A} \tag{1}$$

Với: Q là lưu lượng nước đầu ra, L.h⁻¹; A là tổng diện tích bề mặt của màng, m².

Màng lọc sau một thời gian hoạt động sẽ bị tích lũy cấu cặn dẫn đến giảm lưu lượng làm việc. Khi lưu lượng đầu ra giảm đến 10% (J_f) so với lưu lượng ban đầu (J_o), màng được lấy ra để tiến hành rửa màng. Quá trình rửa màng được thực hiện như sau: (1) rửa vật lý bằng cách dội màng với 300 mL nước cất; (2) đo thông lượng hoạt động lại với nước cất (J_r)

Tỷ lệ cặn vật lý (F_p), biểu thị mức độ dễ tẩy rửa của cấu cặn, được tính bằng công thức (2)

$$F_p = \frac{J_r - J_f}{J_o - J_f} \times 100\% \tag{2}$$

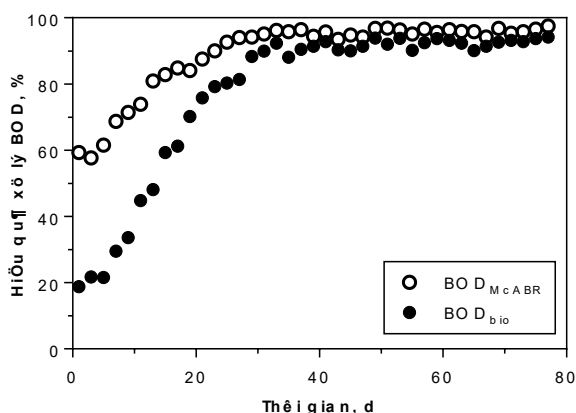
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hoạt động của hệ thống McABR

3.1.1. Hiệu quả xử lý BOD

Ban đầu, hiệu quả xử lý sinh học của đơn nguyên ABR (BOD_{bio}) khoảng 20% BOD, trong khi hiệu quả xử lý BOD của cả hệ thống McABR (BOD_{McABR}) là khoảng 60% (Hình 2). Sau đó, BOD_{bio} lẫn BOD_{McABR} lần lượt tăng dần cho đến 90-93% và 94-96% trong khoảng 30 ngày và giữ các giá trị này trong suốt thời gian hoạt động còn lại (60 ngày). Trong khi đó, kết quả từ một nghiên cứu trước (cùng do tác giả nghiên cứu này và các sinh viên ngành Kỹ thuật Môi trường, khoa Công nghệ Hóa học, trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng thực hiện), ở cùng các điều kiện hoạt động, cho thấy hiệu quả xử lý BOD của thiết bị ABR (khi hoạt động độc lập và không có màng lọc) chỉ đạt 82%. Ngoài ra, thời gian để thiết bị ABR thích nghi với điều kiện hoạt động để đạt trạng thái ổn định là khoảng 80 ngày. Thời gian thích nghi của thiết bị ABR đối với các loại nước thải khác nhau cũng khá dài, từ 60-128 ngày trong báo cáo tổng hợp của [1].

Nhờ có màng lọc, thời gian lưu bùn (SRT) được kéo dài cho phép thời gian lưu nước (HRT) ngắn [2], nghĩa là hiệu quả xử lý được nâng cao. Ngoài ra, do hiện tượng thất thoát bùn gần như không xảy ra, lượng sinh khối được bảo toàn và có thể nâng cao hiệu quả hoạt động cũng như rút ngắn thời gian thích nghi của hệ vi sinh vật.



Hình 2. Hiệu quả xử lý BOD của hệ thống McABR

3.1.2. Hiệu quả xử lý các chất dinh dưỡng

Trong ngày đầu, hàm lượng nitơ tổng của đơn nguyên ABR (TN_{bio}) và của cả hệ thống McABR (TN_{McABR}) lần lượt là 290 và 88,2 $mg.L^{-1}$. Sau 10 ngày, hàm lượng TN_{bio} và TN_{McABR} lần lượt là 274,4 và 82,5 $mg.L^{-1}$. Đến ngày thứ 30, các giá trị này là khoảng 242,4 và 56,7 $mg.L^{-1}$. Sau đó, các giá trị này ổn định tại các giá trị trung bình 244 và 54 $mg.L^{-1}$ (Hình 3a). Với sự có mặt của màng CMF, hiệu quả xử lý sinh học TN_{bio} tăng nhẹ (14,4%) so với khi thiết bị ABR hoạt động một mình (12,3%). Như vậy, trong 10 ngày đầu, TN giảm với tốc độ chậm. Nhưng từ ngày 10-30, hàm lượng TN giảm nhanh hơn và ổn định sau đó. Sự thay đổi không đều này có thể liên quan đến kích thước lỗ lọc của màng lọc, hay nói cách khác đến quá trình đóng cấu cặn của màng lọc.

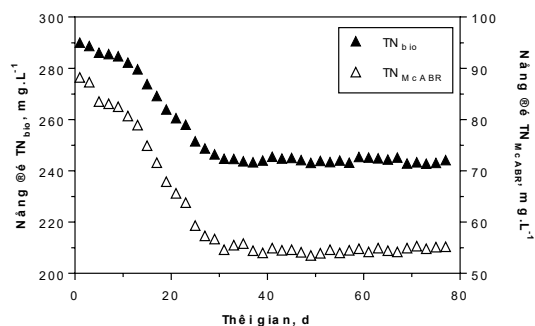
Hàm lượng photpho tổng của đơn nguyên ABR (TP_{bio})

và của cả hệ thống McABR (TP_{McABR}) lần lượt là 41,4 và 24,8 $mg.L^{-1}$ trong ngày đầu. Sau đó, TP_{bio} và TP_{McABR} giảm dần đến 30,8 và 17,7 $mg.L^{-1}$ trong ngày thứ 30. Sau ngày thứ 30, các giá trị này giữ ổn định các giá trị sau này (Hình 3b). Tương tự với hàm lượng TN, với sự có mặt của màng CMF, hiệu quả xử lý sinh học TP_{bio} tăng nhẹ (28,4%) so với khi thiết bị ABR hoạt động một mình (24,2%). Như vậy, trong 30 ngày đầu, TP giảm đều cho tới khi đạt trạng thái ổn định. Sự thay đổi của TP khác với TN, mặc dù cùng đạt ổn định sau 30 ngày hoạt động.

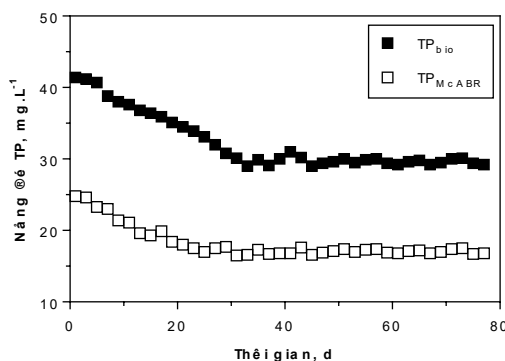
3.2. Cấu cặn trên màng lọc

Thông lượng của CMF thay đổi khác nhau tùy theo điều kiện hoạt động. Ngay cả trong cùng điều kiện hoạt động, giá trị của nó cũng bị giảm một cách không hoàn toàn tuyến tính trong suốt thời gian hoạt động.

Thông lượng J của màng CMF khi hoạt động không có giá thể giảm từ 91,0 đến 79,3 $L.m^{-2}.h^{-1}$ trong 10 ngày đầu. Từ ngày 10 đến ngày 30, J tiếp tục giảm đến 71,0 $L.m^{-2}.h^{-1}$. Tương tự khi có giá thể vi sinh, J giảm từ 92,4 xuống 88,3, rồi 84,7 $L.m^{-2}.h^{-1}$ tại ngày 10 và ngày 30. Như vậy, trong cả hai trường hợp (có và không sử dụng giá thể vi sinh), thông lượng đều giảm. Tuy nhiên, chỉ sau ngày thứ 30, thông lượng mới giảm một cách tuyến tính và tốc độ giảm cũng nhỏ hơn. Số lượng vi sinh vật (n_m) cũng thay đổi theo hai chiều hướng khác nhau qua hai giai đoạn này (Hình 4). Trong 30 ngày đầu, n_m tăng từ 193 lên 354 CFU. mL^{-1} . Sau ngày 30, n_m ổn định cho đến ngày 77.



(a)



(b)

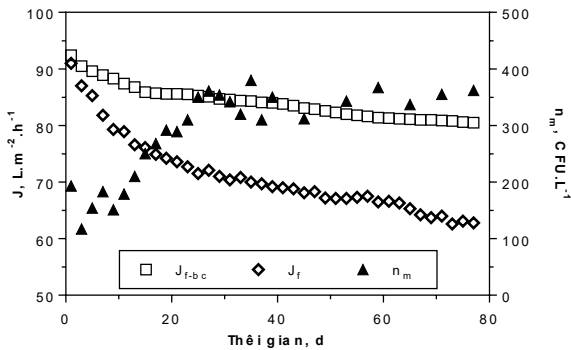
Hình 3 Sự thay đổi các hàm lượng (a) TN và (b) TP

Kết hợp hai Hình 3 và 4 cho thấy, ban đầu thông lượng hoạt động của màng giảm nhanh chóng khi n_m tăng. Tuy nhiên, sau khi n_m ổn định, thông lượng giảm nhẹ hơn giai đoạn đầu. Nguyên nhân của mối tương quan này có thể được giải thích như sau: lượng EPS được cho là sản sinh ra

nhiều hơn trong giai đoạn thích nghi hoặc có sự thay đổi đột ngột của điều kiện sống [16]. Như vậy, trong giai đoạn thích nghi (30 ngày đầu), việc số lượng vi sinh vật tăng nhanh cộng với lượng EPS được sản xuất ra tăng đã đẩy nhanh tốc độ đóng cấu cặn gây nên sự giảm thông lượng nhanh chóng.

Mặt khác, trong giai đoạn thích nghi, do lượng vi sinh vật tăng dẫn đến tỷ lệ F/M giảm. Kết quả này cũng trùng với phát biểu của [17] rằng để giảm tốc độ bám cấu cặn, cần giảm tỷ lệ F/M. Ở một số điều kiện, hàm lượng SMP thấp đi khi SRT tăng, làm giảm cấu cặn bám trên màng [18]. Phát biểu tương tự cũng được tìm thấy trong báo cáo của [19] và [17]: ảnh hưởng của EPS tới hoạt động của màng lọc giảm khi SRT tăng. Ngoài ra, một khi vi sinh vật bám trên các giá thể sinh học, lượng SMP giảm so với trường hợp sinh trưởng lơ lửng [11, 12] đã làm giảm cấu cặn trên màng. Chính vì vậy mà J trong trường hợp vận hành không có giá thể vi sinh giảm nhanh hơn so với J hoạt động với giá thể vi sinh (Hình 4).

Như vậy có thể thấy sự tương quan giữa số lượng vi sinh vật và thông lượng hoạt động của màng CMF. Trong giai đoạn thích nghi (30 ngày đầu), số lượng vi sinh vật tăng nhanh chóng (Hình 4). Trong giai đoạn thích nghi, vi sinh vật sản sinh ra nhiều enzym (EPS) [8, 20]. Mặt khác, các polymer sinh học này đóng vai trò chính trong việc tạo lớp cấu cặn trên bề mặt màng lọc, gây tụt áp và làm giảm thông lượng làm việc [7].



Hình 4. Khả năng hoạt động liên tục của màng lọc CMF trong các trường hợp có và không có giá thể sinh học

Màng lọc CMF chỉ dừng để tẩy rửa, khi thông lượng làm việc 92 L.m⁻².h⁻¹ bị giảm 10%, sau 77 ngày hoạt động. Thành phần lớp cấu cặn bao gồm chủ yếu là cặn vật lý (chiếm 87,9%) và một phần nhỏ cặn hóa học (12,1%) (Bảng 3). Điều này có nghĩa là sau khi dừng màng để tẩy rửa, chỉ cần dùng phương pháp vật lý (dội rửa) là thông lượng của màng đã có thể được phục hồi 77,9%, nghĩa là thông lượng sau khi màng được tẩy rửa vật lý là 90 L.m⁻².h⁻¹. Điều này cho thấy màng có thể làm việc liên tục trong thời gian dài. Khi thông lượng bị giảm, cấu cặn chỉ cần được tẩy rửa đơn giản là có thể quay lại làm việc ngay.

Bảng 3. Tỷ lệ cặn vật lý và hóa học trong lớp cấu cặn

Loại cấu cặn	Tỷ lệ, %	σ, %
Vật lý	88	4.7
Hóa học	12	4.9

4. Kết luận

Hệ thống McABR thể hiện các tiềm năng trong hiệu quả xử lý chất hữu cơ và tính bền vững trong hoạt động. Sự có mặt của màng lọc CMF đã mang lại ba lợi ích cho cả hệ thống: (1) hiệu quả xử lý BOD (94%), TN (81,1%), và TP (58,8%) cao, cải thiện 14% (BOD), 68,8% (TN), và 34,6% (TP) hiệu quả xử lý so với thiết bị ABR truyền thống; (2) Có thể duy trì hiệu quả xử lý BOD, TN, và TP ở mức cao và ổn định ngay cả trong trường hợp hiệu quả xử lý sinh học thấp; (3) thời gian thích nghi được rút ngắn đáng kể (30 ngày) so với ; (4) ngoài ra, với sự có mặt của giá thể vi sinh, thời gian làm việc liên tục của màng lọc kéo dài 77 ngày. Hơn nữa, lớp cấu cặn dễ tẩy rửa bằng biện pháp vật lý đơn giản. Sau khi rửa bằng phương pháp vật lý đơn giản, thông lượng phục hồi được đến 88%.

5. Đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo

5.1. Các vấn đề đặt ra

Thông lượng hoạt động trong nghiên cứu này được cố định với một giá trị. Nếu tăng giá trị này lên, lưu lượng sẽ tăng, hoặc giảm được bề mặt màng lọc. Tuy nhiên, khi đó cấu cặn có thể cũng sẽ tăng nhanh và tần suất dừng hệ thống để rửa màng cũng tăng.

Ngoài một số ít dinh dưỡng bị xử lý bằng phương pháp sinh học tạo thành các chất khí, đa số các thành phần N và P được giữ lại trong hệ thống bằng lọc vật lý của màng CMF. Nếu có biện pháp thu hồi hàm lượng dinh dưỡng này, sẽ đem lại hiệu quả kinh tế cho việc sản xuất phân bón.

Do nước thải chế biến thủy sản có hàm lượng hữu cơ cao nên việc thu hồi và tinh lọc khí methane (CH₄) sẽ có giá trị kinh tế cao.

5.2. Đề xuất hướng nghiên cứu

Xuất phát từ các nhu cầu trên, nghiên cứu tiếp theo sẽ tập trung vào một số hướng như sau: (1) Đánh giá hoạt động của hệ thống McABR hoạt động dưới các tải trọng và thông lượng khác nhau; (2) Nghiên cứu cải thiện bề mặt màng lọc CMF để tiếp tục giảm thiểu cấu cặn bám vào; (3) Tìm cách thu hồi hiệu quả dinh dưỡng để xử dụng làm phân bón; (4) Và đánh giá thành phần biogas và lượng khí CH₄ sản sinh;

6. Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn sự tài trợ chính từ Đại học Đà Nẵng cho nghiên cứu này. Ngoài ra, tác giả cũng xin cảm ơn Khoa Cơ khí, trường Cao đẳng Công nghệ và Công ty Kỹ thuật Môi trường Trần - Đông A đã hỗ trợ về thiết bị, máy móc, và mặt bằng thí công. Đặc biệt chân thành cảm ơn Trạm xử lý nước thải tập trung khu công nghiệp dịch vụ thủy sản Thọ Quang (Trực thuộc Công ty Thoát nước và Xử lý nước thải, thành phố Đà Nẵng) đã nhiệt tình ủng hộ nghiên cứu này về mặt địa điểm và phân tích nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] W.P. Barber, D.C. Stuckey, The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: a review, Water Research, 33 (1999) 1559-1578.
- [2] G. Tchobanoglous, F.L. Burton, H.D. Stensel, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, in, McGraw-Hill, New York,

- 2003.
- [3] T.M. Tran, Y. Ye, V. Chen, R. Stuetz, P. Le-Clech, Assessment of anti-fouling strategies for membrane coupled with upflow anaerobic sludge blanket (MUASB) process, *Environmental Technology*, 34 (2012) 521-528.
 - [4] B. Lew, S. Tarre, M. Beliaevski, C. Dosoretz, M. Green, *Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for domestic wastewater treatment*, Desalination, (2009) 251-257.
 - [5] A. Beaubien, M. Bâty, F. Jeannot, E. Francoeur, J. Manem, Design and operation of anaerobic membrane bioreactors: development of a filtration testing strategy, *Journal of Membrane Science*, 109 (1996) 173-184.
 - [6] D. Jeison, J.B.V. Lier, Cake layer formation in anaerobic submerged membrane bioreactors (AnSMBR) for wastewater treatment, *Journal of Membrane Science*, 284 (2006) 227-236.
 - [7] T.M. Tran, R.M. Stuetz, V. Chen, P. Le-Clech, Advanced characterization of fouling in membrane coupled with upflow anaerobic sludge blanket process, *Environmental Technology*, 34 (2013) 2799-2807.
 - [8] S. Judd, C. Judd, The MBR Book: Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment, in: Elsevier (Ed.), Elsevier Ltd., Oxford, UK, 2011.
 - [9] S.F. Aquino, A.Y. Hu, A. Akram, D.C. Stuckey, Characterization of dissolved compounds in submerged anaerobic membrane bioreactors (SMBRs), *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 81 (2006) 1894-1904.
 - [10] M.H. Robledo, D.M.C. León, J.M.M. Sagastume, A. Noyola, Biofouling in an anaerobic membrane bioreactor treating municipal sewage, *Separation and Purification Technology*, 81 (2011) 49-55.
 - [11] S. Jamal Khan, S. Ilyas, S. Javid, C. Visvanathan, V. Jegatheesan, Performance of suspended and attached growth MBR systems in treating high strength synthetic wastewater, *Bioresour* Technology, 102 (2011) 5331-5336.
 - [12] A. Achilli, E.A. Marchand, A.E. Childress, A performance evaluation of three membrane bioreactor systems: aerobic, anaerobic, and attached-growth, *Water Science & Technology*, 63 (2011) 2999-3005.
 - [13] L. Defrance, M.Y. Jaffrin, Comparison between filtration at fixed transmembrane pressure and fixed permeate flux: application to a membrane bioreactor used for wastewater treatment, *Journal of Membrane Science*, 152 (1999) 203-210.
 - [14] T.C. Zhang, R.Y. Surampalli, S.L. Ong, C.M. Kao, Membrane technology and environmental applications, in, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, US, 2012.
 - [15] APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed., American Public Health Association (APHA), Washington DC, USA, 1999.
 - [16] B. Lesjean, S. Rosenberger, C. Laabs, M. Jekel, R. Gnirss, G. Amy, Correlation between membrane fouling and soluble/colloidal organic substances in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment, *Water Science & Technology*, 51 (2005) 8.
 - [17] L. Dvořák, M. Gómez, M. Dvořáková, I. Růžicková, J. Wanner, The impact of different operating conditions on membrane fouling and EPS production, *Bioresour* Technology, 102 (2011) 6870-6875.
 - [18] Y. Lee, J. Cho, Y. Seo, J.W. Lee, K.-H. Ahn, Modeling of submerged membrane bioreactor process for wastewater treatment, *Desalination*, 146 (2002) 451-457.
 - [19] P. Grelier, S. Rosenberger, A. Tazi-Pain, Influence of sludge retention time on membrane bioreactor hydraulic performance, *Desalination*, 192 (2006) 10-17.
 - [20] C.S. Laspidou, B.E. Rittmann, A unified theory for extracellular polymeric substances, soluble microbial products, and active and inert biomass, *Water Research*, 36 (2002) 2711-2720.

(Ban biên tập nhận bài: 17/11/2014, phản biện xong: 25/11/2014)