

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ ĐỘNG HỌC VÀ ĐIỀU KIỆN VẬN HÀNH ĐẾN SẢN LƯỢNG BÙN DƯ TRONG HỆ THỐNG XỬ LÝ NƯỚC THẢI ĐÔ THỊ BẰNG PHƯƠNG PHÁP SINH HỌC KẾT HỢP LỌC MÀNG

AN ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF KINETIC PARAMETERS AND OPERATIONAL CONDITIONS ON SLUDGE GENERATION IN THE MEMBRANE BIOREACTOR TREATING MUNICIPAL WASTEWATER

Đỗ Khắc Uẩn

*Sungkyunkwan University, Korea
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội*

Rajesh Banu

*Anna University Tirunelveli,
India*

Ick-Tae Yeom

*Sungkyunkwan University,
Korea*

TÓM TẮT

Dựa vào các cân bằng khối lượng đối với cơ chất và sinh khối, nghiên cứu đã thiết lập được phương trình tính sản lượng bùn dư trong hệ thống xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng. Kết quả nghiên cứu cho thấy thời gian lưu bùn (θ_b) có ảnh hưởng lớn nhất đến sản lượng bùn dư. Ví dụ đối với nước thải có mức độ ô nhiễm trung bình, khi θ_b tăng đến 429 (ngày) có thể dẫn đến sản lượng bùn dư bằng không. Các hệ số sản lượng sinh khối (Y) và hệ số phân hủy nội bào (k_d) cũng đều gây ảnh hưởng lớn đến sản lượng bùn dư. Thời gian lưu thủy lực (θ) hầu như không có ảnh hưởng đến mức độ suy giảm bùn dư, cho dù θ được tăng lên đến 50 (giờ). Ngoài ra, khi hệ thống vận hành ở θ_b lớn cần tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của bùn đến hiện tượng tắc màng.

ABSTRACT

Based on the mass balances of sludge and substrate, an equation calculating the excess sludge generation in membrane bioreactor was established. The obtained observations showed that the excess sludge generation was affected strongest by the sludge retention time (θ_b). If θ_b increased to 429 (day) for treating the medium-polluted municipal wastewater the excess sludge generation would be zero. The excess sludge generation was also strongly affected by the sludge yield (Y), endogenous decay coefficient (k_d). The hydraulic retention time (θ) almost had no effect on reduction of the excess sludge production, though it was increased to 50 (h). In addition, if the system is operated at high θ_b it will be necessary to further examine the effect of sludge on the membrane fouling.

1. Đặt vấn đề

Công nghệ bùn hoạt tính được sử dụng phổ biến để xử lý nước thải nói chung và nước thải đô thị nói riêng. Chức năng chủ yếu của công nghệ này là chuyển hóa các chất ô nhiễm hữu cơ thành cacbonic, nước và bùn (sinh khối). Trong quy trình này, hệ số chuyển hóa bùn thường nằm trong khoảng 0,40-0,70 mg VSS/mg COD [1]. Như vậy, bùn dư lại chính là một loại chất thải thứ cấp và cần tiếp tục phải xử lý hoặc thải bỏ bằng phương pháp thích hợp. Tuy nhiên, chi phí xử lý và thải bỏ bùn dư rất cao, có thể

chiếm đến 30-60% tổng chi phí đầu tư và chi phí vận hành tại nhiều trạm xử lý nước thải [2]. Do đó, việc quản lý và xử lý bùn dư thực sự là một vấn đề môi trường lớn thu hút được nhiều nghiên cứu cả về mặt lý thuyết và thực hành.

Trong những năm gần đây, công nghệ sinh học kết hợp lọc màng đã được áp dụng vào lĩnh vực xử lý nước thải. Hệ thống này có ưu điểm nhỏ gọn, chất lượng nước sau xử lý cao, và đặc biệt có khả năng giảm được bùn dư ngay tại nguồn [3]. Tỷ lệ chuyển hóa bùn trong hệ thống này chỉ khoảng 0,10-0,40 mg VSS/mg COD [4], trung bình chỉ bằng khoảng một nửa so với công nghệ bùn hoạt tính thông thường. Mặc dù vậy, sản lượng bùn dư lại chịu nhiều ảnh hưởng bởi đặc trưng dòng vào, các thông số động học và các điều kiện vận hành hệ thống.

Vì vậy, nghiên cứu này tiến hành thiết lập phương trình động học xác định sản lượng bùn dư trong hệ thống sinh học kết hợp lọc màng khi áp dụng cho xử lý nước thải đô thị. Dựa vào phương trình này để đánh giá ảnh hưởng của hệ số sản lượng sinh khối, thời gian lưu của bùn, hệ số phân hủy nội bào, và thời gian lưu thủy lực đến sản lượng bùn dư. Đồng thời tiến hành so sánh mức độ ảnh hưởng của các thông số đó đến khả năng giảm sản lượng bùn dư.

2. Phương pháp thực hiện

2.1. Hệ thống xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng

Về mặt nguyên lý, màng lọc có thể được lắp đặt ở bên ngoài hoặc bên trong bể phản ứng sinh học. Hình 1 biểu diễn màng lọc lắp đặt bên trong bể phản ứng. Nước thải đầu vào được hòa trộn với bùn hoạt tính trong bể phản ứng. Ở đó sẽ diễn ra quá trình ôxi hóa sinh học các chất ô nhiễm hữu cơ thành CO_2 , H_2O và sinh khối (bùn). CO_2 thoát ra khỏi hệ thống nhờ quá trình sục khí, nước sạch được hút qua màng lọc. Bùn hoạt tính được giữ lại bên trong bể phản ứng và một lượng bùn dư sẽ được thải bỏ để duy trì hàm lượng bùn trong hệ thống theo yêu cầu thiết kế.

2.2. Thiết lập phương trình động học xác định sản lượng bùn dư trong hệ thống xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng

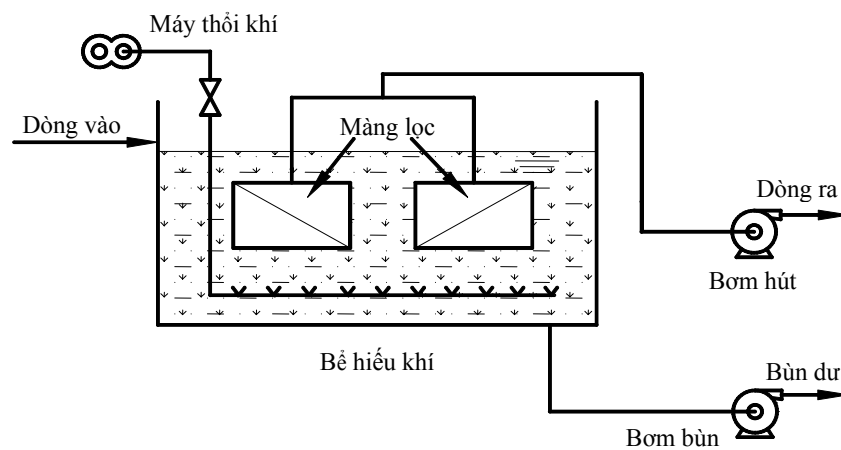
Dựa vào nguyên lý cơ bản về cân bằng khối lượng, có thể thiết lập được các phương trình cân bằng khối lượng của bùn (sinh khối) và cơ chất trong hệ thống xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng như sau (các thông số đầu vào, đầu ra, các thành phần trong hệ thống được biểu diễn trên hình 2):

$$V \times \frac{dX}{dt} = Q_i \times X_i + R_b \times V - Q_w \times X_w - Q_e \times X_e \quad (1)$$

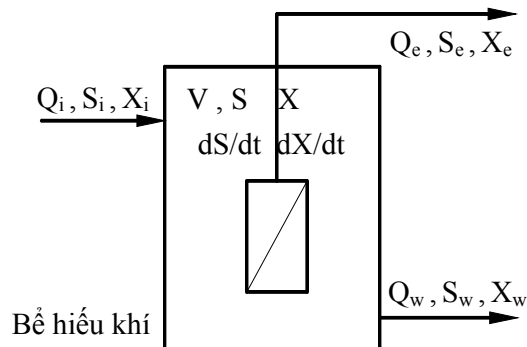
$$V \times \frac{dS}{dt} = Q_i \times S_i + R_s \times V - Q_w \times S_w - Q_e \times S_e \quad (2)$$

trong đó:

Q_i : lưu lượng nước thải đầu vào, L/ngày	X_i : hàm lượng bùn trong nước thải đầu vào, mg/L
Q_e : lưu lượng nước sau xử lý, L/ngày	X : hàm lượng bùn trong bể sinh học, mg/L
Q_w : lưu lượng thải bùn dư, L/ngày	X_e : hàm lượng bùn trong nước sau xử lý, mg/L
S : nồng độ cơ chất trong bể sinh học, mg/L	X_w : hàm lượng bùn thải ra, mg/L
S_w : nồng độ cơ chất trong bùn dư, mg/L	S_i : nồng độ cơ chất trong nước thải đầu vào, mg/L
V : thể tích bể phản ứng, L	S_e : nồng độ cơ chất trong dòng sau xử lý, mg/L
R_s : tốc độ sử dụng cơ chất (mg/L.s)	R_b : tốc độ sinh trưởng của vi khuẩn, mg VSS/L.s



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng (màng lọc đặt nhúng chìm trong bể phản ứng) [5].



Hình 2. Sơ đồ biểu diễn cân bằng khối lượng

Giả thiết bể sinh học được khuấy trộn đồng đều, dòng vào và dòng ra không chứa bùn, tức là:

$$X_i = 0, X_e = 0, X_w = X, S_w = S \quad (3)$$

Ở điều kiện ổn định:

$$\frac{dX}{dt} = 0; \quad \frac{dS}{dt} = 0 \quad (4)$$

Mối quan hệ giữa hệ số sản lượng sinh khối lý thuyết (Y) với R_s và R_g được biểu diễn theo phương trình sau:

$$R_b = -Y \times R_s \quad (5)$$

Ngoài ra, hệ số sản lượng sinh khối thực (Y_o) có thể xác định được thông qua phương trình sau: $Y_o = \frac{Y}{1 + k_d \times \theta_b}$ (6)

trong đó k_d : hệ số phân hủy nội bào, (1/ngày).

Đối với hệ thống sinh học kết hợp lọc màng, thời gian lưu thủy lực (θ) và thời gian lưu bùn (θ_b) tính được theo các phương trình:

$$\theta = \frac{V}{Q_e}; \quad \theta_b = \frac{V}{Q_w} \quad (7)$$

và:

$$Q_i = Q_w + Q_e \quad (8)$$

Thay các phương trình (3) và (4) vào các phương trình (1) và (2), sau đó biến đổi và kết hợp với các phương trình (5), (6), (7) và (8) để dàng xác định được X (biểu diễn nồng độ bùn trong hệ thống) như sau:

$$X = \frac{Y \times \theta_b}{1 + k_d \times \theta_b} \left[\frac{S_i - S_e}{\theta} + \frac{S_i - S}{\theta_b} \right] \quad (9)$$

Sản lượng bùn dư trong hệ thống (M , mg VSS/ngày) được tính bằng:

$$M = \frac{V \times X}{\theta_b} \quad (10)$$

Thay (9) vào (10), biến đổi và kết hợp với các phương trình (7) và (8) sẽ thu được phương trình tính sản lượng bùn dư:

$$M = \frac{Y \times Q_i}{1 + k_d \times \theta_b} \left[\frac{\theta_b \times (S_i - S_e) + \theta \times (S_i - S)}{\theta + \theta_b} \right] \quad (11)$$

Đại lượng $(S_i - S_e)$ có thể viết bằng $(S_i - S) + (S - S_e)$, trong đó $(S_i - S)$ biểu diễn việc khử cơ chất bằng quá trình ôxi hóa sinh học, còn $(S - S_e)$ là lượng cơ chất giảm được nhờ quá trình phân tách bằng màng lọc. Từ phương trình (11), cho thấy rằng tất cả các thông số: Q_i , k_d , Y , θ_b , θ , $(S_i - S)$ và $(S - S_e)$ đều có khả năng ảnh hưởng đến M . Như vậy, sản lượng bùn trong hệ thống phụ thuộc vào đặc trưng nước thải, hiệu suất của quá trình sinh học và hiệu quả của quá trình lọc màng.

2.3. Nước thải đô thị và các thông số động học

Nước thải đô thị được chia thành ba mức độ ô nhiễm: nặng, trung bình và nhẹ, tương ứng với nồng độ COD lần lượt là 1000, 500 và 250 mg/L [1]. Các hệ thống xử lý nước thải đô thị bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng vận hành trong thời gian dài đã chứng tỏ được rằng S và S_e có giá trị ổn định lần lượt là 30 và 8 mg/L [6]. Với hệ thống xử lý đã biết, lưu lượng đầu vào (Q_i) thường không đổi, cho nên trong nghiên cứu này không đánh giá ảnh hưởng của Q_i đến M . Các thông số động học và các điều kiện vận hành sử dụng để tính toán và đánh giá được tóm tắt trong bảng 1.

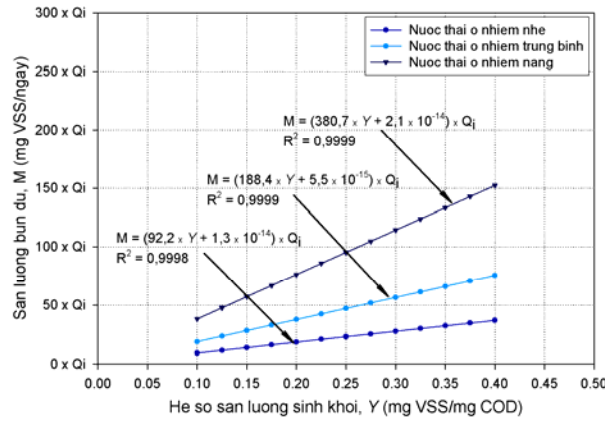
Bảng 1. Tham khảo và lựa chọn giá trị thông số động học và điều kiện vận hành [1,4,7]

Thông số	Khoảng dao động	Giá trị thường dùng
k_d (1/ngày)	0,010 - 0,080	0,040
Y (mg VSS/mg COD)	0,10 - 0,40	0,30
θ (giờ)	1,0 - ∞	6
θ_b (ngày)	1,0 - ∞	40

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của hệ số sản lượng sinh khối đến sản lượng bùn dư

Để đánh giá ảnh hưởng của hệ số sản lượng sinh khối đến sản lượng bùn dư, tiến hành thay các giá trị của θ , θ_b và k_d (bảng 1) vào phương trình (11) sẽ xác định được mối quan hệ của M theo Y . Bằng cách sử dụng phương pháp hồi quy, xác định được các phương trình biểu diễn mối quan hệ này là các phương trình đường thẳng tuyến tính với hệ số tương quan $R^2 = 0,9999$ (hình 3). Từ hình vẽ dễ dàng thấy rằng, độ dốc của các đường thẳng biểu diễn mối quan hệ M và Y đối với nguồn nước thải đô thị có mức độ ô nhiễm nhẹ, trung bình và nặng đều lớn. Khi giảm Y , giá trị M giảm đi đáng kể. Ví dụ, nếu Y giảm từ 0,4 xuống 0,10 mg VSS/mg COD, thì M giảm được lần lượt là $27,9 \times Q_i$; $56,8 \times Q_i$ và $114,4 \times Q_i$ (mg VSS/ngày) đối với nước thải có mức độ ô nhiễm nhẹ, trung bình và nặng (kết quả tóm tắt trong bảng 2). Như vậy, biện pháp giảm Y đã đem lại hiệu quả giảm M khá lớn. Tuy nhiên, từ phương trình (11) thấy rằng để đạt được trường hợp M tiến đến không (0) thì bắt buộc Y cũng phải tiến đến không (0). Nhưng trường hợp này không thể thực hiện được vì khi Y tiến đến không (0) tức là trong hệ thống không có quá trình sinh tổng hợp tế bào. Thực tế, không thể tồn tại hệ thống xử lý nước thải như vậy (Metcalf and Eddy, 2003).

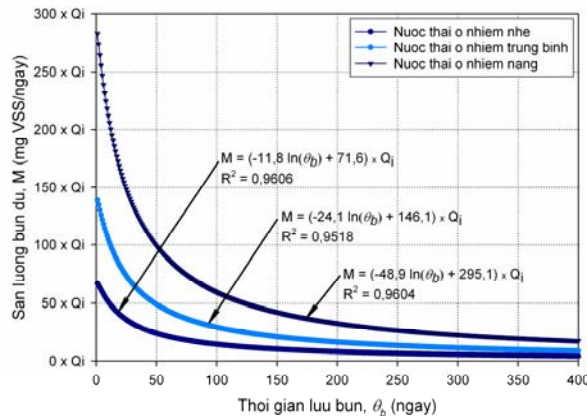


Hình 3. Ảnh hưởng của hệ số sản lượng sinh khối đến sản lượng bùn dư
(khi $\theta = 6$ giờ; $\theta_b = 40$ ngày; và $k_d = 0,040$ l/ngày)

3.2. Ảnh hưởng của thời gian lưu bùn đến sản lượng bùn dư

Khi thay các giá trị của θ , Y và k_d sẽ xác định được sự ảnh hưởng của θ_b đến M . Từ hình 4 có thể thấy rằng, đối với cả ba loại nước thải, khi tăng θ_b thì M đều suy giảm theo ba giai đoạn khác nhau. Giá trị M suy giảm đột ngột khi θ_b tăng từ 1 đến 50 (ngày). Khi θ_b tăng dần từ khoảng 50 đến 200 (ngày), giá trị M giảm chậm dần. Khi tiếp tục tăng θ_b lớn hơn hơn 200 ngày, giá trị M giảm không đáng kể. Bằng việc sử dụng chương trình máy tính thông dụng (Microsoft Excel hoặc Sigma Plot) dễ dàng xác định được mối quan hệ của M và θ_b tuân theo quy luật hàm logarit.

Từ các phương trình biểu diễn trên hình 4, có thể xác định được M tiến đến không ($M \rightarrow 0$) khi θ_b lần lượt bằng 432, 429 và 418 (ngày) đối với nước thải có mức độ ô nhiễm nhẹ, trung bình và nặng. Có nghĩa là sản lượng bùn dư có thể tiến đến không nếu θ_b được duy trì đủ lớn. Tuy nhiên, rất khó vận hành hệ thống với θ_b quá lớn như vậy. Bởi vì khi θ_b quá lớn sẽ dẫn đến nhiều vấn đề liên quan đến quá trình vận hành và hiệu quả xử lý, đặc biệt là sự tích tụ của bùn trong hệ thống và hiện tượng tắc màng lọc [5].

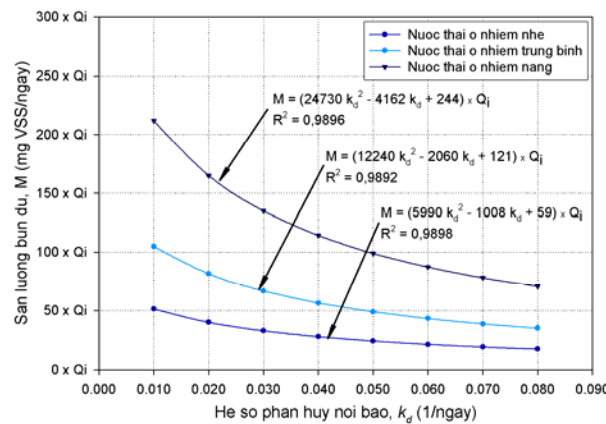


Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian lưu bùn đến sản lượng bùn dư
(khi $\theta = 6$ giờ; $Y = 0,30$ mg VSS/mg COD; và $k_d = 0,040$ l/ngày)

3.3. Ảnh hưởng của hệ số phân hủy nội bào đến sản lượng bùn dư

Ảnh hưởng của k_d đến M được biểu diễn trên hình 5. Từ hình vẽ thấy rằng, giá trị của M đối với cả ba loại nước thải đều suy giảm khi tăng k_d . Mức độ giảm phụ thuộc vào mức độ ô nhiễm của nước thải. Sự suy giảm càng lớn khi nước thải có mức độ ô nhiễm càng cao.

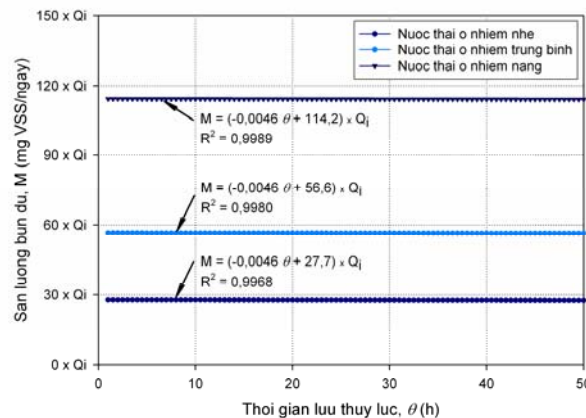
Sử dụng phương pháp hồi quy để xác định mối quan hệ giữa M và k_d . Kết quả cho thấy M phụ thuộc vào k_d theo dạng hàm bậc hai, với các hệ số tương quan (R^2) đều lớn, từ 0,9892 đến 0,9898. Xét theo phương diện toán học, rõ ràng các phương trình bậc hai này tồn tại điểm cực tiểu. Bằng phép tính toán học, dễ dàng xác định được các giá trị cực tiểu này lần lượt là $16,6 \times Q_i$, $34,3 \times Q_i$ và $68,8 \times Q_i$ (mg VSS/ngày) đối với nước thải có mức độ ô nhiễm nhẹ, trung bình và nặng. Các giá trị này đều lớn hơn không (0). Hay nói cách khác, M không thể bằng không (0) khi tăng k_d .



Hình 5. Ảnh hưởng của hệ số phân hủy nội bào đến sản lượng bùn dư
(khi $\theta = 6$ giờ; $\theta_b = 40$ ngày; và $Y = 0,30$ mg VSS/mg COD)

3.4. Ảnh hưởng của thời gian lưu thủy lực

Tương tự như các phần trên, để xét ảnh hưởng của θ đến M , tiến hành thay các giá trị của θ_b , Y và k_d vào phương trình (11).



Hình 6. Ảnh hưởng của thời gian lưu thủy lực đến sản lượng bùn dư
(khi $\theta_b = 40$ ngày; $Y = 0,30$ mg VSS/mg COD; và $k_d = 0,040$ 1/ngày)

Hình 6 biểu diễn mối quan hệ giữa M và θ tuân theo phương trình đường thẳng, với các hệ số góc hoặc độ dốc rất nhỏ. Kết quả trên hình vẽ cho thấy đối với cả ba loại nước thải, rõ ràng M hầu như không thay đổi khi tăng thời gian lưu thủy lực.

Về mặt kỹ thuật, khi θ càng nhỏ, thì kích thước thiết bị càng nhỏ, có nghĩa là rất có lợi cho chi phí đầu tư [8]. Nhưng khi xét đến khía cạnh giảm sản lượng bùn dư thì thấy rằng ảnh hưởng θ đến M không đáng kể, nên có thể bỏ qua vai trò của θ .

3.5. So sánh mức độ ảnh hưởng của các thông số động học và điều kiện vận hành đến khả năng giảm sản lượng bùn dư trong hệ thống sinh học kết hợp lọc màng

Mức độ ảnh hưởng của các thông số Y , θ_b , k_d và θ đến sự giảm thiểu sản lượng bùn được tổng hợp trong bảng 2.

Bảng 2. Tổng hợp mức độ sản lượng bùn dư giảm được khi thay đổi giá trị của các thông số động học và điều kiện vận hành

Thông số	Khoảng biến thiên	Sản lượng bùn dư giảm được (mg VSS/ngày)		
		Nước thải có mức độ ô nhiễm		
		nhẹ	trung bình	nặng
Y (mg VSS/mg COD)	0,40 $\rightarrow$ 0,10	27,9 x Q_i	56,8 x Q_i	114,4 x Q_i
θ_b (ngày)	1 $\rightarrow$ 200	58,5 x Q_i	119,7 x Q_i	242,1 x Q_i
k_d (1/ngày)	0,010 $\rightarrow$ 0,080	37,2 x Q_i	75,9 x Q_i	153,0 x Q_i
θ (giờ)	1 $\rightarrow$ 50	0,1 x Q_i	0,2 x Q_i	0,2 x Q_i

So sánh các kết quả trong bảng 2, dễ dàng thấy rằng phương pháp giảm M hiệu quả nhất là tăng θ_b . Khi tăng k_d hoặc giảm Y đều làm sản lượng bùn giảm được khá lớn. Phương pháp có hiệu quả kém nhất là tăng θ . Cho dù được θ tăng từ 1 đến 50 (giờ), sản lượng bùn cũng chỉ giảm được khoảng 0,2 x Q_i (mg VSS/ngày). Do vậy, có thể bỏ qua ảnh hưởng của θ đến mức độ giảm sản lượng bùn khi so sánh với mức độ ảnh hưởng của θ_b , Y và k_d .

Trong hệ thống sinh học kết hợp lọc màng, θ_b không phụ thuộc vào θ , nên khi vận hành hệ thống với θ_b đủ lớn và ở điều kiện θ nhỏ có thể đạt được trạng thái sản lượng bùn dư tiến đến không ($M \rightarrow 0$). Khi hệ thống vận hành ở điều kiện θ_b lớn và θ nhỏ chắc chắn làm tăng hàm lượng sinh khối, giúp tăng cường hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm khó phân hủy sinh học [8]. Tuy nhiên, khi hàm lượng bùn quá lớn lại làm tăng độ nhớt của bùn và làm tăng nguy cơ gây tắc màng. Đồng thời, hàm lượng bùn quá lớn có thể làm giảm quá trình chuyển khối của ôxi, do đó làm giảm hiệu quả xử lý của hệ thống [4].

4. Kết luận

Xuất phát từ các cân bằng khối lượng đối với cơ chất và sinh khối, nghiên cứu đã thiết lập được phương trình tính sản lượng bùn dư trong hệ thống xử lý nước thải

bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng. Các thông số động học và các điều kiện vận hành đều có ảnh hưởng đến sản lượng bùn dư. Trong đó thời gian lưu bùn (θ_b) có ảnh hưởng lớn nhất đến sản lượng bùn dư. Nếu hệ thống vận hành ở θ_b đủ lớn (429 ngày, đối với nước thải ô nhiễm trung bình) có thể dẫn đến sản lượng bùn dư tiến đến không. Các hệ số sản lượng sinh khối (Y) và hệ số phân hủy nội bào (k_d) có ảnh hưởng đến sản lượng bùn với mức độ giảm được khá lớn khi k_d tăng hoặc khi Y giảm. Thời gian lưu thủy lực (θ) hầu như không có ảnh hưởng đến mức độ suy giảm bùn dư, cho dù θ được tăng lên đến 50 (giờ). Khi hệ thống vận hành ở điều kiện θ_b lớn sẽ dẫn đến hàm lượng bùn trong hệ thống cao. Do đó, cần phải tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của bùn đến hiện tượng tắc màng, một yếu tố quan trọng giúp hệ thống làm việc ổn định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Metcalf and Eddy (2003). Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse, 4th Edition, McGraw-Hill, NewYork, USA.
- [2] Canales AP and Poles JL (1994). Decreased sludge production strategy for domestic wastewater treatment. Water Sci. Tech., 30: 97-106.
- [3] Nowak O (2006). Optimizing the use of sludge treatment facilities at municipal WWTPs. J Environ Sci. Health A, 41: 1807-1817.
- [4] Trouve FW, Urbain V and Manem J (1994). Treatment of municipal wastewater by membrane bioreactor: Results of a semi-industrial pilot scale study. Water Sci. Tech., 30: 151-157.
- [5] Đỗ Khắc Uẩn và Đặng Kim Chi (2008). Đánh giá tiềm năng ứng dụng công nghệ màng trong xử lý nước thải đô thị ở Việt Nam. Tạp chí Môi trường Đô thị, 7: 39-42.
- [6] Rajesh BJ, Do KU and Yeom IT (2008). Nutrient removal in an A2/O-MBR reactor with sludge recycling. The 1st International Conference on Technologies & Strategic Management of Sustainable Biosystems, Perth, Western Australia, July 6-9.
- [7] Henze M (1992). Characterization of wastewater for modelling of activated sludge process. Water Sci. Tech., 25: 1-15.
- [8] Chiemchaisri C, Yamamoto K and Vigneswaran S (1994). Household membrane bioreactor in domestic wastewater treatment. Water Sci. Tech., 27: 171-178.