

## THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC DỰ ĐOÁN SẢN LƯỢNG BÙN TRONG HỆ THỐNG XỬ LÝ NƯỚC THẢI ĐÔ THỊ BẰNG PHƯƠNG PHÁP SINH HỌC HIẾU KHÍ KẾT HỢP LỌC MÀNG

Đỗ Khắc Uẩn<sup>(1,2)</sup>, Banu J. Rajesh<sup>(3)</sup>, Ick T. Yeom<sup>(3)</sup>

(1)Khoa Kỹ thuật Xây dựng và Môi trường, Đại học Công nghệ Nanyang, Singapore

(2) Viện Khoa học và Công nghệ Môi trường, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

(3)Department of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, Korea

(Bài nhận ngày 09 tháng 12 năm 2009, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 15 tháng 12 năm 2010)

**TÓM TẮT:** Nghiên cứu đã tiến hành thiết lập được phương trình động học biểu diễn mối quan hệ giữa sản lượng bùn trong hệ thống xử lý nước thải đô thị bằng phương pháp bùn hoạt tính kết hợp lọc màng với các thông số như nồng độ cơ chất, hệ số phân hủy nội bào, thời gian lưu bùn, thời gian lưu thủy lực. Dựa vào số liệu thực nghiệm và sử dụng phương pháp gần đúng đã xác định được hệ số sản lượng sinh khối lý thuyết ( $Y = 0,33 \text{ mg VSS/mg COD}$ ) và hệ số phân hủy nội bào ( $k_d = 0,04 \text{ l/ngày}$ ). Kết quả tính toán cho thấy hàm lượng bùn dự đoán từ phương trình động học dao động xung quanh các giá trị đo thực tế. Điều đó chứng tỏ khả năng áp dụng phương trình này để tính hàm lượng bùn và các thông số động học trong các hệ thống xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng.

**Từ khóa:** bùn dư, màng lọc, nước thải đô thị, phương trình động học.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong khoảng hơn mười năm trở lại đây, công nghệ sinh học kết hợp kỹ thuật lọc màng đã thực sự thu hút được nhiều nghiên cứu và đã được ứng dụng trong xử lý nước thải do những ưu điểm về hiệu quả xử lý và diện tích mặt bằng sử dụng nhỏ [1]. Đây là một công nghệ xử lý nước thải có nhiều triển vọng ứng dụng rộng rãi trong tương lai [2]. Nhiều nghiên cứu về công nghệ này chủ yếu tập trung vào việc tìm ra chế độ vận hành ổn định và đánh giá hiệu quả của hệ thống đối với các loại nước thải khác nhau, ví dụ nước thải sinh hoạt [3], nước thải đô thị [4] và nước thải công nghiệp [5]. So với công nghệ bùn hoạt tính thông thường, sản lượng bùn sinh ra trong hệ thống xử lý kết hợp lọc màng thường thấp hơn nhiều

[6]. Không những thế, đặc trưng của bùn cũng hoàn toàn khác so với quá trình bùn hoạt tính thông thường do thời gian lưu bùn trong hệ thống lớn [6]. Việc xác định và dự đoán sản lượng bùn trong hệ thống này rất quan trọng và cần thiết trong thiết kế và vận hành. Vấn đề này có thể được giải quyết bằng việc nghiên cứu động học của quá trình.

Vi vậy, mục đích của nghiên cứu này là xác định phương trình động học tính lượng bùn sinh ra trong quá trình xử lý nước thải đô thị bằng phương pháp bùn hoạt tính kết hợp lọc màng.

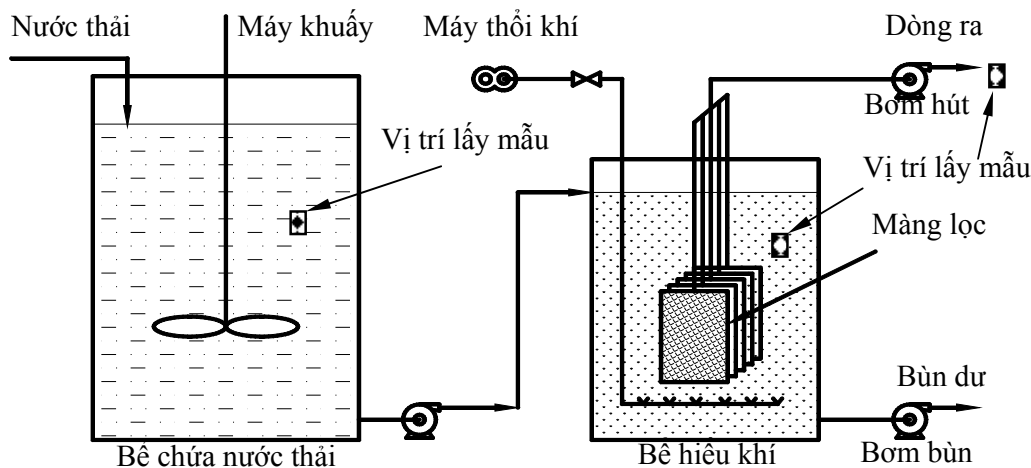
### 2. PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

#### 2.1. Hệ thống thiết bị thí nghiệm

Sơ đồ nguyên lý của hệ thống dùng trong nghiên cứu thể hiện trên hình 1. Bể phản ứng

được chế tạo bằng thủy tinh hữu cơ, thể tích làm việc là 60 L ( $D \times R \times C = 450 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 900 \text{ mm}$ ). Năm tấm màng vi lọc (chế tạo bằng polyvinylidene fluoride – PVDF; kích thước lỗ 0,22  $\mu\text{m}$ ; diện tích bề mặt của mỗi tấm màng lọc là 0,1  $\text{m}^2$ ) được đặt nhúng chìm

trong bể phản ứng. Hệ thống phân phối khí được lắp ngay phía dưới các tấm màng, đảm bảo cung cấp đủ ôxi cho quá trình ôxi hóa sinh học, đồng thời đảm nhiệm vai trò khuấy trộn và ngăn ngừa hiện tượng bùn bám lên bề mặt màng.



**Hình 1.** Sơ đồ nguyên lý của hệ thống thí nghiệm

Nước thải từ thùng chứa được bơm định lượng vào bể phản ứng. Nước sau xử lý được hút qua màng và đưa ra ngoài. Hàng ngày bùn dư được hút ra khỏi bể phản ứng để kiểm soát thời gian lưu bùn. Hệ thống được trang bị cảm biến đo áp suất, các van điện từ và rơ-le định mức để giám sát và kiểm soát liên tục quá trình thí nghiệm.

Thí nghiệm được tiến hành với thời gian lưu bùn thay đổi từ 10, 20, 30, 40, 50 và 60 ngày. Các thông số khác như năng suất lọc và thời gian lưu thủy lực được duy trì không đổi tương ứng là 20  $\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  và 6 h. Thực nghiệm được thực hiện trong thời gian khoảng 8 tháng.

## 2.2. Phương pháp lấy mẫu và phân tích

Các mẫu tại dòng vào, dòng sau xử lý và trong bể phản ứng được định kỳ lấy mẫu 3

lần/tuần để phân tích nhằm thu thập số liệu cho việc kiểm chứng mô hình và đánh giá hiệu quả xử lý của hệ thống trong quá trình vận hành. Các vị trí lấy mẫu được đánh dấu trên hình 1. Các mẫu sau đó được tiến hành phân tích ngay sau khi lấy mẫu. Cụ thể như sau: Nhu cầu ôxi hóa hóa học (COD) được xác định bằng phương pháp so màu (Phương pháp 8000 [7]). Các mẫu được đưa vào ống phân tích COD và phân giải mẫu bằng thiết bị phản ứng COD (Model DRB200, HACH Corp. USA) ở nhiệt độ 150°C trong 2 h. Mẫu sau khi phân giải được làm nguội đến nhiệt độ phòng và đo bằng thiết bị Hach (Model DR/2500, USA) ở bước sóng 620 nm. Đối với nồng độ COD hòa tan trong bể phản ứng, trước hết mẫu được ly tâm ở 5000 vòng/phút trong 5 phút (Sử dụng máy

ly tâm WiseSpin®CF-10, Daihan Scientific Co., Korea), phần nước thu được dùng COD hòa tan giống như trình tự phân tích COD.

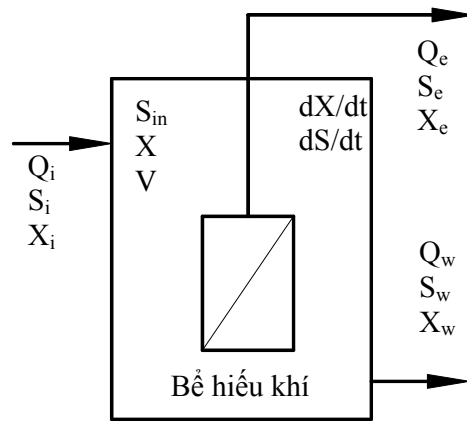
Hàm lượng chất rắn lơ lửng (MLSS) và phần chất rắn bay hơi (MLVSS) được xác định theo các phương pháp 2540D và 2540E [7]. Các mẫu bùn được lọc qua lọc sợi thủy tinh kích thước lỗ 0,45-µm (GFC, Whatman, UK). Phần chất rắn giữ lại trên giấy lọc được sấy khô trong lò sấy (Memmert UFP600, GmbH, Germany) ở 105°C trong 2 h để xác định MLSS. Sau đó, mẫu MLSS được nung trong lò

nung (DH.WFH12.27, Daihan Co., Korea) ở 550°C trong 20 phút để xác định MLVSS.

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Thiết lập phương trình động học trong hệ thống sinh học kết hợp lọc màng**

Để thiết lập phương trình động học xác định và dự đoán hàm lượng bùn trong hệ thống, trước hết cần thiết lập các phương trình cân bằng khối lượng của cơ chất và sinh khối trong hệ thống xử lý. Sơ đồ nguyên lý biểu diễn các thông số đầu vào, đầu ra và các thành phần trong bể phản ứng được đưa ra trên hình 2.



**Hình 2.** Sơ đồ biểu diễn cân bằng vật chất

Dựa vào nguyên lý cơ bản về cân bằng khối lượng, chúng tôi đã tiến hành thiết lập các phương trình cân bằng khối lượng đối với cơ chất và sinh khối cho bể phản ứng sinh học của hệ thống thí nghiệm, cụ thể như sau:

$$V \frac{dX}{dt} = Q_i X_i + R_g V - Q_w X_w - Q_e X_e \tag{1}$$

$$V \frac{dS}{dt} = Q_i S_i + R_s V - Q_w S_w - Q_e S_e \tag{2}$$

trong đó:

$Q_i$ : lưu lượng nước thải đầu vào, L/ngày	$X_i$ : nồng độ bùn trong nước thải đầu vào, mg/L
$Q_e$ : lưu lượng nước sau xử lý, L/ngày	$X_e$ : nồng độ bùn trong bể sinh học, mg/L
$Q_w$ : lưu lượng thải bùn dư, L/ngày	$X_w$ : nồng độ bùn trong nước sau xử lý, mg/L
$S$ : nồng độ COD trong bể sinh học, mg/L	$X_w$ : nồng độ bùn thải ra, mg/L
$S_e$ : nồng độ COD trong dòng sau xử lý, mg/L	$S_i$ : nồng độ COD trong nước thải đầu vào, mg/L
$S_w$ : nồng độ COD trong bùn dư, mg/L	$S_{in}$ : nồng độ COD hòa tan trong bể phản ứng, mg/L

V: thể tích bể phản ứng, L	$k_d$ : hệ số phân hủy sinh khối, ngày <sup>-1</sup>
$\theta_b$ : thời gian lưu bùn, ngày	$\theta$ : thời gian lưu thủy lực, ngày
$R_s$ : tốc độ sử dụng cơ chất (mg/L.s)	$R_g$ : tốc độ sinh trưởng của vi khuẩn, mg VSS/L.s
Y: hệ số sản lượng sinh khối lý thuyết, mg VSS/mg COD	$Y_o$ : hệ số sản lượng sinh khối thực, mg VSS/mg COD

Với giả thiết bể sinh học được khuấy trộn đồng đều và bùn hoạt tính không có trong dòng vào và dòng ra, nên có thể coi:  $X_i = 0$ ;  $X_e = 0$ ;  $X_w = X$ ;  $S_w = S_{in}$  (3)

Khi hệ thống vận hành đạt trạng thái ổn định thì sự biến thiên của  $dX/dt$  và  $dS/dt$  sẽ bằng không.

Hệ số sản lượng sinh khối thực ( $Y_o$ , bao gồm cả quá trình hô hấp nội sinh) có mối quan hệ với  $R_s$  và  $R_g$  theo phương trình:

$$R_g = -Y_o R_s \quad (4)$$

Trong hệ thống sinh học kết hợp lọc màng, thời gian lưu bùn và thời gian lưu thủy lực có thể tính được bằng các công thức sau:

$$\frac{V}{Q_e} = \theta; \quad \frac{V}{Q_w} = \theta_b \quad (5)$$

$$\text{và } Q_i = Q_w + Q_e \quad (6)$$

Thay các phương trình (3), (4), (5) và (6) vào các phương trình (1) và (2). Bằng phép biến đổi toán học, lấy tích phân của các phương trình này, cuối cùng thì được kết quả xác định nồng độ của bùn (X) theo phương trình sau:

$$X = Y_o \cdot \theta_b \cdot \left[ \frac{S_i - S_e}{\theta} + \frac{S_i - S_{in}}{\theta_b} \right] \quad (7)$$

Hệ số sản lượng sinh khối lý thuyết (Y) có thể xác định được thông qua phương trình sau

$$[6]: Y_o = \frac{Y}{1 + k_d \cdot \theta_b} \quad (8)$$

Thay thế phương trình (8) vào phương trình (7) sẽ thu được:

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

Từ phương trình (9) có thể thấy rằng nồng độ bùn (X) trong hệ thống xử lý không chỉ liên quan đến nồng độ cơ chất của dòng vào, dòng ra, thời gian lưu bùn, thời gian lưu thủy lực,... mà còn phụ thuộc vào nồng độ COD hòa tan trong bể phản ứng.

Cũng từ phương trình (9), có thể nhận thấy rằng, khi tăng thời gian lưu bùn đến vô cùng (tức là không thải bỏ bùn dư), thì giới hạn của phương trình (9) sẽ là:

$$\lim_{\theta_b \rightarrow \infty} X = \frac{Y}{k_d} \left[ \frac{S_i - S_e}{\theta} \right] \quad (10)$$

Như vậy, nếu kéo dài thời gian lưu bùn, thì nồng độ bùn cũng sẽ tăng đến giới hạn nào đó nếu các điều kiện khác còn lại không đổi. Giới hạn của nồng độ bùn tỷ lệ thuận với độ chênh lệch COD trong dòng vào và dòng ra, nhưng tỷ lệ nghịch với thời gian lưu thủy lực.

### 3.2. Xác định các hằng số động học Y, $k_d$

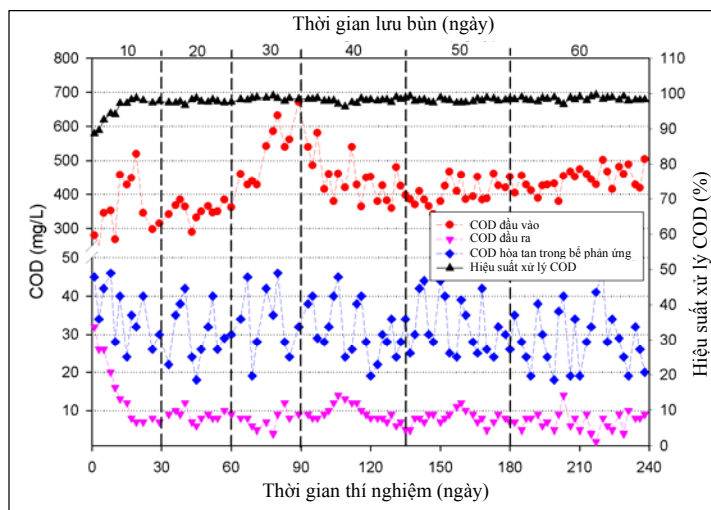
Các hằng số Y,  $k_d$  được sử dụng để mô tả quá trình động học của hệ thống. Y và  $k_d$  liên quan đến sự sinh trưởng của vi khuẩn và sự phân hủy cơ chất. Các hằng số động học này có vai trò quan trọng trong nghiên cứu khoa học và thiết kế kỹ thuật. Giá trị của hai thông số

này có thể xác định được từ số liệu thực nghiệm.

Lấy nghịch đảo và sắp xếp lại phương trình (8) thu được phương trình đường thẳng biểu diễn mối quan hệ  $(1/Y_o)$  và  $\theta_b$ :

$$\frac{1}{Y_o} = \frac{1}{Y} \cdot k_d \cdot \theta_b + \frac{1}{Y} \quad (11)$$

Hệ số sản lượng bùn thực ( $Y_o$ ) tại các thời gian lưu bùn khác nhau được tính theo phương trình (7), sử dụng các số liệu vận hành của hệ thống trong điều kiện ổn định thể hiện trên hình 3 (đối với các giá trị  $S_i$ ,  $S_{in}$  và  $S_e$ ) và hình 5 (phần giá trị đo đối với giá trị X).



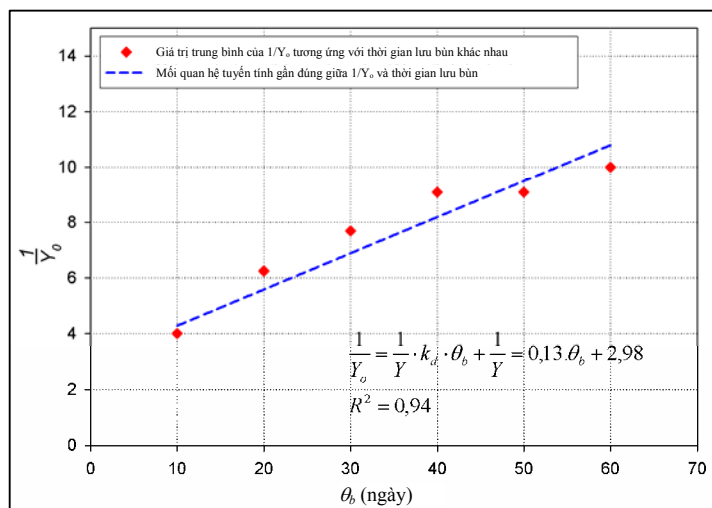
**Hình 3.** Sự biến thiên của COD theo thời gian

Các giá trị  $Y_o$  đã tính toán được liệt kê trong bảng 1 thể hiện rằng khoảng giới hạn của  $Y_o$  là từ 0,10 đến 0,25 mg VSS/mg COD.

**Bảng 1.** Hệ số sản lượng bùn ( $Y_o$ ) tương ứng với các thời gian lưu bùn khác nhau

X (mg VSS/L)	$(S_i - S_e)$ (mg/L)	$(S_i - S_{in})$ (mg/L)	$\theta_b$ (ngày)	$\theta$ (h)	$Y_o$ (mg VSS/mg COD)	$\frac{1}{Y_o}$
3450	343	324	10	6	0,25	4,00
4918	369	347	20	6	0,16	6,25
6780	423	400	30	6	0,13	7,69
7450	418	396	40	6	0,11	9,09
9820	445	426	50	6	0,11	9,09
10790	438	416	60	6	0,10	10,0

Dựa vào phương trình (11) và các số liệu trong bảng 1, coi  $\theta_b$  và  $1/Y_o$  lần lượt là trục hoành và trục tung, khi đó phương trình đường thẳng của  $1/Y_o$  đối với  $\theta_b$  thể hiện trên hình 4.



Hình 4. Mối quan hệ tuyến tính giữa  $1/Y_o$  đối với  $\theta_b$

Bằng phương pháp gần đúng, phương trình đường thẳng thu được như sau:

$$\frac{1}{Y_o} = 0,13\theta_b + 2,98 \quad (\text{với hệ số tương}$$

quan là  $R^2 = 0,94$ ) (12)

Từ các phương trình (11) và (12), chúng ta dễ dàng xác định được hai thông số động học:  $Y = 0,33$  mg VSS/mg COD và  $k_d = 0,04$  ngày<sup>-1</sup>. Các giá trị của  $Y$  và  $k_d$  trong quá trình bùn hoạt tính thông thường là nằm trong khoảng 0,4-0,7 mg VSS/mg COD và 0,04-0,10 ngày<sup>-1</sup> [6]. Như vậy hệ số sản lượng sinh khối lý thuyết và hằng số phân hủy sinh khối trong hệ thống xử lý sinh học kết hợp lọc màng đều nhỏ hơn so với các giá trị của các thông số đó trong hệ thống bùn hoạt tính thông thường.

Thay thế giá trị  $Y$  và  $k_d$  vào phương trình (9) thu được:

$$X = \frac{0,33 \cdot \theta_b}{1 + 0,04 \cdot \theta_b} \left[ \frac{S_i - S_e}{\theta} + \frac{S_i - S_{in}}{\theta_b} \right] \quad (13)$$

Đây chính là phương trình động học để xác định và dự đoán lượng bùn sinh ra trong hệ thống xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học hiếu khí kết hợp lọc màng.

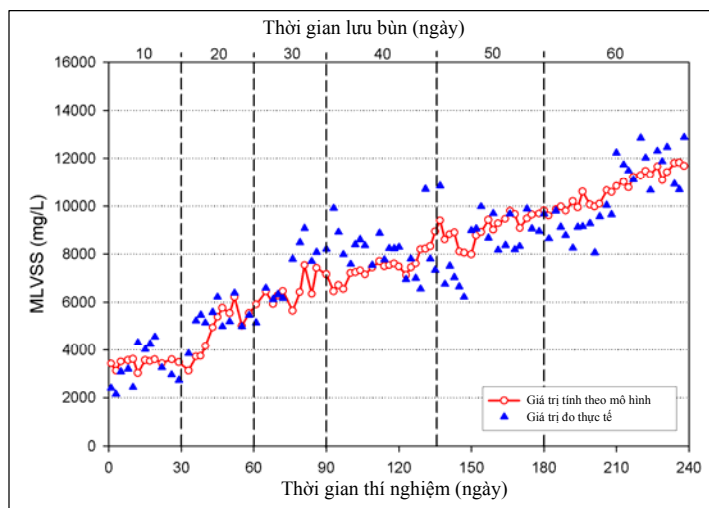
### 3.3. Kiểm chứng mô hình bằng các giá trị thực nghiệm và phạm vi áp dụng

Từ phương trình động học (phương trình 13) thu được ở trên, khi biết nồng độ COD trong dòng vào và dòng ra và các điều kiện vận hành ( $\theta_b$ ,  $\theta$ ), chúng ta hoàn toàn có thể dự đoán được xu hướng tăng trưởng của bùn trong hệ thống thí nghiệm.

Trước hết, cần đánh giá sự biến thiên của COD theo thời gian (hình 3). Mặc dù COD đầu vào dao động từ 290 đến 675 mg/L nhưng COD trong dòng ra trung bình là khoảng 9,6

mg/L. Kết quả thu được có thể so sánh với các nghiên cứu khác, khi BOD<sub>5</sub> dòng ra thường thấp hơn 10 mg/L [3, 6]. Hiệu suất xử lý COD trung bình đạt khoảng rất cao (97%) và ổn định, cho thấy tiềm năng lớn của công nghệ này trong xử lý nước thải đô thị [8].

Sự biến thiên của hàm lượng bùn trong quá trình thí nghiệm tại các thời gian lưu bùn khác nhau được thể hiện trên hình 5. Từ hình vẽ thấy rằng nồng độ bùn xu hướng tăng theo thời gian. Điều này được giải thích là do việc kéo dài thời gian lưu bùn đối với từng giai đoạn thí nghiệm.



Hình 5. Sự thay đổi của nồng độ bùn theo thời gian.

Thay các giá trị thực nghiệm vào phương trình (13), chúng ta dễ dàng thu được các giá trị dự đoán để kiểm chứng mô hình. Kết quả thu được minh họa trên hình 5. Từ hình vẽ, chúng ta dễ dàng thấy rằng hàm lượng bùn dự đoán nằm trong khoảng các giá trị đo thực tế. Kết quả thu được chứng tỏ khả năng vận dụng phương trình này đối với việc tính toán nồng độ bùn và các thông số động học. Tuy nhiên, còn tồn tại những điểm dự đoán nhỏ hơn hoặc lớn hơn so với số liệu đo. Điều này có thể được giải thích do nồng độ cơ chất đầu vào dao động lớn đã gây ảnh hưởng đến sự sinh trưởng và phân giải của sinh khối trong bể phản ứng. Như vậy, kết quả kiểm chứng cho thấy, phương trình động học đã thiết lập được có thể áp dụng

được cho các hệ thống xử lý nước thải sinh hoạt, đô thị bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng ở quy mô lớn hơn.

#### 4. KẾT LUẬN

Xử lý nước thải đô thị bằng phương pháp sinh học hiếu khí kết hợp lọc màng đảm bảo dòng ra có chất lượng rất cao. Dựa vào phương trình cân bằng khối lượng của cơ chất và sinh khối, nghiên cứu đã thiết lập được phương trình động học mô tả mối quan hệ giữa giữa nồng độ bùn với các thông số như nồng độ cơ chất, hệ số phân hủy nội bào, thời gian lưu bùn, thời gian lưu thủy lực. Đồng thời xác định được giá trị của các thông số động học cơ bản bao gồm  $Y$  và  $k_d$  trong hệ thống này lần lượt là 0,33 mg VSS/mg COD và 0,04 1/ngày. Các giá

trị thu được thấp hơn nhiều so với các giá trị của quá trình bùn hoạt tính thông thường. Dựa vào phương trình động học đã thiết lập được có

thể dự đoán được về sự hình thành sinh khối trong hệ thống xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng.

## ESTABLISHING A KINETIC EQUATION TO ESTIMATE SLUDGE PRODUCTION IN MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT BY MEMBRANE BIOREACTOR

Do Khắc Uan<sup>(1,2)</sup>, Banu J. Rajesh<sup>(3)</sup>, Ick T. Yeom<sup>(3)</sup>

(1)Nanyang University, Singapore

(2)Hanoi University of Science and Technology

(3) Sungkyunkwan University, Korea

**ABSTRACT:** *Sludge production in the membrane bioreactor treating municipal wastewater can be estimated from the kinetic equation which describes a relationship between sludge concentration and substrate, decay coefficient, sludge retention time and hydraulic retention time. Based on the experimental data and using the mathematical approximate method, the theoretical yield factor ( $Y$ ) and the decay coefficient ( $k_d$ ) were found to be 0.33 mg VSS/mg COD and 0.04 1/day, respectively. Sludge production in the system can be estimated from the obtained kinetic equation. The calculated values were fluctuated around the measured ones. This result proved the potential application of the obtained equation for estimation of the biomass concentration and kinetic parameters in the wastewater treatment systems using membrane bioreactor technology.*

**Keywords:** *excess sludge, kinetic equation, membrane filtration, municipal wastewater.*

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Yamamoto K. and Urase T., *Membrane potential*, Water Qual. Int., 33-34 (1997).
- [2]. Enegess D., Togna P. and Sutton P., *Membrane separation applications to biosystems for wastewater treatment*, Filt. Sep. 14-17 (2003).
- [3]. Chiemchaisri C., Yamamoto K. and Vigneswaran S., *Household membrane bioreactor in domestic wastewater treatment*, Water Sci. Tech., 27:171-178 (1993).
- [4]. Urbain V., Trouve E. and Manem J., *Membrane bioreactors for municipal wastewater treatment and recycling*, Water and Environ., 1:317-327 (1994).
- [5]. Cornel P., *Membrane bioreactors in industrial waste water treatment-European experiences, examples and trends*, 3rd IWA Leading-Edge Conference & Exhibition on Water and Wastewater Treatment Technologies, Sapporo, Japan. 6-8 June (2005).



[6]. Tchobanoglous G., Burton F.L. and Stensel H.D., *Wastewater engineering treatment disposal and reuse*, 4th edition, McGraw-Hill, New York, USA (2003).

[7]. APHA, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21st Ed., American Public Health Association, Water Pollution and Control Federation, Washington DC, USA (2005).

[8]. Do K.U., Banu J.R., Yeom I.T., Dang K.C., Nguyen N.L., *A review on potential application of membrane bioreactor for municipal wastewater treatment*, National Conference on Recent Trends in Chemical Engineering. St. Peters Engineering College, Chennai, India, April 2-4 (2008).