

NGHIÊN CỨU XỬ LÝ NƯỚC THẢI ĐÔ THỊ BẰNG PHƯƠNG PHÁP SINH HỌC KẾT HỢP MÀNG VI LỌC

Trần Thị Việt Nga¹, Trần Hoài Sơn², Trần Đức Hạ³

Tóm tắt: Mục tiêu của nghiên cứu là đề xuất được một công nghệ hiệu quả và phù hợp để xử lý nước thải sinh hoạt ở các đô thị của Việt Nam, là loại nước thải được thu gom từ hệ thống thoát nước chung có nồng độ chất hữu cơ thấp (COD 120-200 mg/l) nhưng hàm lượng chất dinh dưỡng như Nitơ, Phốt pho khá cao (TN: 10-50 mg/L). Chúng tôi đã nghiên cứu và vận hành chạy thử mô hình xử lý sinh học trong điều kiện thiếu khí - hiếu khí (AO) kết hợp với màng vi lọc ở quy mô mô hình phòng thí nghiệm (công suất 5-10 L/h) ở các chế độ tuần hoàn bùn khác nhau. Kết quả xử lý trong thời gian 150 ngày vận hành mô hình cho thấy chất lượng nước thải sau xử lý có hàm lượng COD nhỏ hơn 20 mg/L, $\text{NH}_4\text{-N}$ nhỏ hơn 1 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ nhỏ hơn 5 mg/L. Hiệu suất xử lý chất hữu cơ và chất dinh dưỡng rất ổn định và hệ thống không phải sử dụng các nguồn bổ sung chất hữu cơ hay các hóa chất trợ lắng như các công nghệ khác đang áp dụng. Kết quả cho thấy công nghệ AO kết hợp màng vi lọc có khả năng áp dụng thực tế, phù hợp với những nơi có quỹ đất nhỏ, chất lượng nước sau xử lý rất cao có thể phục vụ cho mục đích tái sử dụng.

Từ khóa: MBR, nước thải sinh hoạt, Hà Nội, xử lý Nitơ.

Summary: The study aims to investigate an appropriate wastewater treatment process to treat domestic wastewater in Hanoi city which contains low concentration of COD (120-200 mg/l) but high in nitrogen content (20-40 mg/l). An AO-MBR (Anoxic-Oxic membrane bioreactor) was operated at a flux of 5-10 L/h over a period of 150 days. The reactor was operated at different sludge recirculation rates. The MBR maintained relatively constant transmembrane pressure. During 150 days of reactor operation, treated water quality have COD of around 15-20 mg/l, $\text{NH}_4\text{-N}$ of less than 1 mg/l, $\text{NO}_3\text{-N}$ of less than 5 mg/l. The system shows good and stable removal efficiency of organic matter and nitrogen without adding an external carbon sources, alkalinity and coagulants. The research results from this study indicated that the proposed process configuration has potential to treat the low strength wastewater in Hanoi.

Keywords: MBR, domestic waste water, Hanoi, nitrogen removal

Nhận ngày 02/3/2012, chỉnh sửa ngày 12/7/2012, chấp nhận đăng 30/8/2012

1. Giới thiệu chung

Tốc độ phát triển kinh tế cao, bên cạnh việc mang lại những lợi ích to lớn như cải thiện mức sống của người dân và tiềm lực kinh tế cho đất nước, cũng có tác động nặng nề đến chất lượng môi trường. Trong đó, ô nhiễm do nước thải sinh hoạt và công nghiệp là một trong vấn

¹TS, Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: nga.tran.vn@gmail.com

²KS. Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng.

³PGS.TS, Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng.

đề nhức nhối nhất. Ở Việt Nam hiện nay, phần lớn nước thải được xả trực tiếp ra môi trường, gây ô nhiễm nghiêm trọng nguồn nước mặt, nước ngầm. Năng lực xử lý nước thải của Việt Nam hiện nay đáp ứng ở mức rất thấp so với nhu cầu thực tế. Theo một số nghiên cứu đánh giá đã thực hiện (Cục Kiểm soát ô nhiễm, 2010; World Bank, 2009) thì các đô thị Việt Nam hiện nay mới chỉ xử lý được dưới 10% lượng nước thải so với nhu cầu thực tế.

Hệ thống thoát nước ở các đô thị Việt Nam chủ yếu là hệ thống thoát nước chung đảm nhận thu gom và vận chuyển nhiều loại nước thải khác nhau và cả nước mưa. Do đó, hàm lượng chất ô nhiễm đã bị pha loãng (nồng độ chất hữu cơ từ 100-250 mg/L) tuy nhiên các thành phần Nitơ và Photpho vẫn ở mức cao. Các công nghệ xử lý nước thải truyền thống như màng vi sinh vật, bùn hoạt tính có hiệu quả xử lý các chất hữu cơ rất tốt, nhưng không đáp ứng yêu cầu xả thải nghiêm ngặt về chất dinh dưỡng (QCVN40:2012; QCVN08:2008, QCVN09:2008/BTNMT). Do đó, nghiên cứu này được thực hiện với mục đích đề xuất được một công nghệ xử lý nước thải sinh hoạt có hiệu quả cao và phù hợp với điều kiện ở các đô thị Việt Nam.

Công nghệ xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học kết hợp màng vi lọc (MBR) đã chứng tỏ các ưu thế vượt trội như kích thước công trình nhỏ, hiệu quả xử lý cao, vận hành và quản lý dễ dàng (Stephenson và NCS, 2001). Trong công nghệ MBR, bể lắng đợt 2 đã được thay thế bởi hệ thống màng vi lọc đặt ngập trong bể phản ứng sinh học. Hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm rất cao nhờ việc duy trì lượng sinh khối lớn trong bể phản ứng sinh học. Do đó, nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu và ứng dụng công nghệ này để xử lý nước thải sinh hoạt đô thị ở Việt Nam nhằm đạt tiêu chuẩn xả thải ra môi trường và xác định các thông số vận hành tối ưu.

2. Hiện trạng thoát nước và xử lý nước thải ở thành phố Hà Nội

Hệ thống thoát nước của Hà Nội là hệ thống thoát nước chung, đảm nhiệm việc thu gom nước thải sinh hoạt, thương mại dịch vụ, một phần nước thải công nghiệp và nước mưa, nước chảy tràn bề mặt. Nước thải phát sinh từ các hoạt động của con người thường được xử lý sơ bộ bằng bể tự hoại tại các hộ nhà dân và sau đó chảy ra hệ thống cống và kênh mương hở trên địa bàn thành phố (sông Tô Lịch, sông Kim Ngưu, sông Lừ và sông Sét) trước khi đổ ra sông Hồng. Do ảnh hưởng từ lượng nước mưa chảy vào hệ thống cống, lượng nước thải và thành phần tính chất của nó dao động rất lớn theo thời gian trong ngày và theo các mùa trong năm.

Bảng 1. Thành phần tính chất nước thải sinh hoạt ở Hà Nội

<i>Chỉ tiêu chất lượng nước</i>	<i>Hàm lượng</i>	<i>Trung bình</i>
BOD ₅ (mg/l)	50-150	100
COD (mg/l)	120-250	200
TSS (mg/l)	30-120	50
NH ₄ -N (mg N/l)	4-25	15
TKN (mg N/l)	5-40	20
T-P (mg/l)	2-10	4
Dầu mỡ (mg/l)	<30	-
Độ kiềm (mg CaCO ₃ /l)	>100	-
pH	6-9	-

Hiện Hà Nội có 3 trạm xử lý nước thải với tổng công suất là 48.200 m³/ngày trong tổng số hơn 700.000m³ phát sinh mỗi ngày. Việc xây dựng các trạm này nằm trong Dự án Thoát nước Hà Nội được xây dựng bằng nguồn vốn ODA của Nhật Bản giai đoạn 1997-2005. Công nghệ xử lý nước thải áp dụng ở các trạm xử lý này là bùn hoạt tính theo các quá trình xử lý Kỵ khí - Thiếu khí - Hiếu khí (A₂O). Nước thải sau khi xử lý được xả ra kênh mương có tiêu chuẩn loại A (QCVN 40:2012) với nồng độ COD 50 mg/L, BOD₅ 30 mg/L, T-N 18mg/L.

Bảng 2. Chất lượng nước thải đầu vào và sau xử lý của Trạm xử lý nước thải Kim Liên

TT	Thông số chất lượng nước thải đầu vào	Nước sau xử lý (mg/L)	Tiêu chuẩn xả thải (QCVN 14/2008- nguồn loại A)
1	COD	22	-
2	BOD	11	30
3	TSS	1.6	50
4	T-N	16	5 (NH ₄ -N)

Nguồn: JICA, 2010

Năm 2010, JICA đã tiến hành một nghiên cứu đánh giá hiệu quả hoạt động của các trạm xử lý nước thải ở thành phố Hà Nội. Nghiên cứu chỉ ra rằng nước thải trong hệ thống thoát nước Hà Nội chủ yếu phát sinh từ các hoạt động sinh hoạt của người dân và chỉ chứa một lượng nhỏ nước thải công nghiệp. Do đó, thành phần chất hữu cơ trong nước thải dễ dàng bị phân hủy bởi các vi sinh vật. Các trạm xử lý nước thải đều đạt hiệu suất xử lý chất hữu cơ (theo chỉ tiêu BOD và COD), tuy nhiên lượng chất hữu cơ thấp có thể không đủ cho quá trình xử lý Nitơ và Phốt pho. Vào mùa mưa, khi nước thải được pha loãng với nước mưa, hiệu quả của quá trình xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học giảm, đặc biệt là quá trình xử lý Phốt pho. Trong thời kỳ này các trạm đều sử dụng nguồn chất hữu cơ ở bên ngoài để nâng cao hiệu quả xử lý chất dinh dưỡng. Ngoài ra, các trạm đều gặp vấn đề bùn xốp và phèn nhôm PAC thường được sử dụng để tăng cường hiệu quả của quá trình lắng bùn.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1 Mô hình xử lý nước thải bằng công nghệ kỵ khí - hiếu khí kết hợp màng vi lọc (MBR)

Cụm mô hình AO-MBR quy mô phòng thí nghiệm được đặt ở trạm xử lý nước thải Kim Liên, bao gồm: thùng đựng nước thải chưa xử lý; bể phản ứng thiếu khí (dung tích hữu dụng 20 lít); bể phản ứng hiếu khí (dung tích hữu dụng 25 lít); bộ màng vi lọc mini; bơm hút qua màng; bơm tuần hoàn bùn, máy nén khí; thùng đựng nước sau xử lý. Nước thải đầu vào của mô hình được lấy từ bể điều hòa của trạm.

Màng vi lọc sử dụng trong mô hình là dạng màng sợi rỗng, có diện tích lọc bề mặt là 1m² và kích cỡ khe hở là 0.4µm do công ty Motimo Co. của Trung Quốc sản xuất. Vật liệu chế tạo màng là Polyvinylidene Fluoride (PVDF)

Mô hình đã được vận hành trong thời gian 150 ngày với các chế độ thời gian lưu thủy lực và tỷ lệ bùn tuần hoàn khác nhau để đánh giá về hiệu quả xử lý các chất hữu cơ và Nitơ. Thời gian lưu nước thủy lực tổng cộng dao động từ 4,5 đến 9,0 giờ. Bùn được lưu giữ hoàn toàn trong hệ thống, tuy nhiên hàng ngày một lượng bùn có thể tích 200mL được lấy ra từ bể hiếu khí và thiếu khí để phân tích các thông số của quá trình xử lý sinh học. Các thông số vận hành mô hình được trình bày ở bảng 3.

Bảng 3. Các thông số vận hành mô hình

Giai đoạn vận hành	Ngày	Lưu lượng vào Q_v (L/h)	Lưu lượng bùn tuần hoàn QRAS (L/h)	HRT tổng (giờ)	Tải trọng thủy lực qua màng (m^3/m^2 -ngđ)	COD trung bình trong nước thải (mg/L)
1	1-30	10	1 Q_v	4.5h	0.24	200
2	31-60	5	1 Q_v	9h	0.12	220
3	61-120	5	2 Q_v	9h	0.12	172
4	121-150	8	3 Q_v	5.1h	0.19	1600

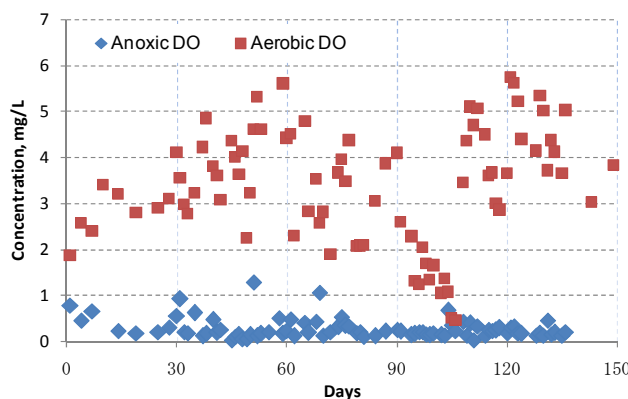
3.2 Phân tích các chỉ tiêu chất lượng nước và bùn

Các chỉ tiêu DO, pH, nhiệt độ của nước thải đầu vào, nước sau xử lý, và nước trong bể phản ứng sinh học (bể thiếu khí và bể hiếu khí) được đo đặc hàng ngày bởi các thiết bị đo nhanh. Việc lấy mẫu nước để phân tích các chỉ tiêu Nhu cầu oxi hóa sinh hóa (COD), hàm lượng chất rắn lơ lửng (MLSS), chất rắn lơ lửng dễ bay hơi (MLVSS), Nitơ tổng số, Amôni, được thực hiện 3 lần trong 1 tuần. Việc phân tích tuân thủ các phương pháp tiêu chuẩn (APHA 2003) và phương pháp HACH với thiết bị đo quang phổ DR2100 (HACH, USA).

4. Kết quả và thảo luận

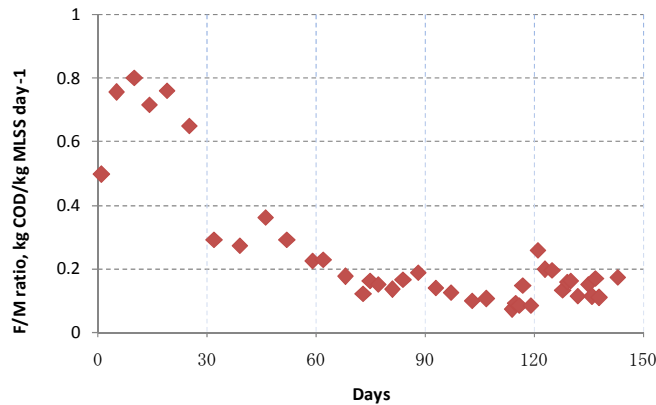
4.1 Các thông số hoạt động của mô hình

Trong giai đoạn đầu kéo dài 30 ngày, mô hình được vận hành với lưu lượng 10L/h; tải trọng thủy lực tương ứng là $0.24m^3/m^2$ -ngđ, hàm lượng MLSS trong bể hiếu khí là 2.000mg/L. Trong bể hiếu khí, giá trị MLSS không ổn định trong thời gian này. Sau 60 ngày, khi lưu lượng bùn tuần hoàn được điều chỉnh tăng lên thì hàm lượng MLSS cũng tăng theo và ổn định ở mức 3.000-4.000 mg/L vào cuối giai đoạn 3 (ngày thứ 120). Lượng bùn tiếp tục tăng cao khi lưu lượng nước thải đầu vào và lưu lượng bùn tuần hoàn tăng thêm. Ở giai đoạn này, MLSS đạt giá trị cao nhất 5.600 mg/L. Trong khi giá trị MLSS trong bể hiếu khí dao động tỷ lệ với sự thay đổi về HRT và tỷ lệ bùn tuần hoàn, hàm lượng MLSS trong bể phản ứng thiếu khí ổn định trong khoảng 2.000-3.000mg/L trong suốt thời gian vận hành mô hình.



Hình 1. Sự dao động của DO trong bể phản ứng sinh học (ngăn hiếu khí và thiếu khí)

Hàm lượng oxi hòa tan trong bể hiếu khí dao động từ 2,0 đến 5,0 mg/L. Oxi hòa tan trong bể thiếu khí được duy trì ở mức từ 0-0,5 mg/L. Ngay cả khi tỷ lệ lưu lượng nước từ bể hiếu khí tuần hoàn trở lại bể thiếu khí tăng đến 300%, mức DO hòa tan duy trì trong các bể hiếu khí luôn lớn hơn 2 mg/L và trong bể thiếu khí dưới 0,5mg/L.

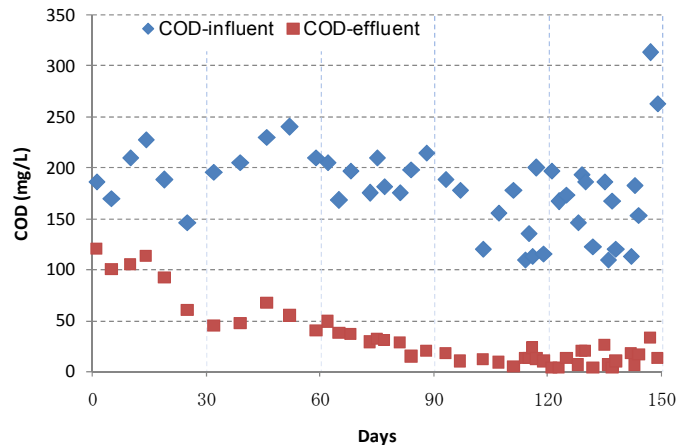


Hình 2. Sự dao động của chỉ tiêu F/M trong bể phản ứng hiếu khí

Ở giai đoạn đầu (ngày 1-30), giá trị F/M thấp và khá ổn định. Trong giai đoạn 2 khi lưu lượng nước đầu vào giảm xuống một nửa và lượng bùn tuần hoàn tăng đến 300% thì giá trị F/M càng giảm và đạt giá trị nhỏ nhất trong toàn bộ thời gian vận hành (Hình 2). Giá trị F/M trung bình từ 0.1-0.15 kg COD/kgMLVSS-ngđ, phù hợp với nhiều nghiên cứu trước đây (Pollic và các cộng sự, 2004; Liu và các cộng sự, 2005).

4.2 Hiệu quả xử lý chất ô nhiễm bằng mô hình AO/MBR

Hình 3 biểu diễn sự dao động của COD đầu vào và đầu ra sau khi xử lý. Hàm lượng COD trong nước thải thô dao động từ 110-240mg/L. Với giá trị này, nước thải sinh hoạt của Hà Nội có thể được phân loại là nước thải nồng độ thấp. Hàm lượng COD sau khi xử lý đều nhỏ hơn 50 mg/L, do đó đáp ứng được tiêu chuẩn xả thải ra môi trường. Hiệu suất xử lý COD khá ổn định.

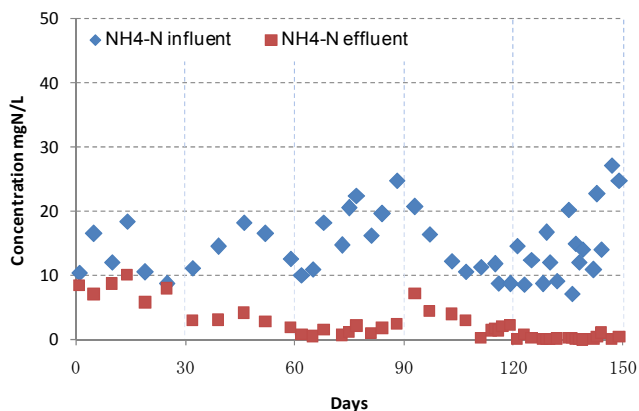


Hình 3. Sự thay đổi hàm lượng COD trong nước thải đầu vào và nước sau xử lý

Hình 4 biểu diễn sự thay đổi hàm lượng Amôni trong nước thải đầu vào và nước đã xử lý trong suốt 5 tháng vận hành mô hình. Hàm lượng Amôni trong nước thải thô dao động từ 7.4- 24.8 mg/L. Trong giai đoạn đầu hàm lượng Amôni trong nước sau xử lý khá cao, chứng tỏ rằng quá trình nitrat hóa ở bể hiếu khí chưa được thực hiện hoàn toàn do thời gian lưu thủy lực không đủ, và năng lực oxi hóa của các vi khuẩn nitrifier còn yếu trong giai đoạn khởi động mô hình. Tuy nhiên, sau ngày thứ 30, hiệu suất xử lý Amôni rất ổn định và cao (hơn 96%). Các kết quả cho thấy hiệu suất xử lý Nitơ (Nitơ tổng số) cũng rất cao và tăng khi tỷ lệ tuần hoàn bùn tăng.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

Độ kiềm của nước thải đầu vào dao động trong khoảng 200-250mg CaCO_3/L và trong nước sau xử lý luôn lớn hơn 80 mg/L, chứng tỏ lượng kiềm trong nước đủ cho quá trình xử lý nitrat hóa và khử nitơ trong bể phản ứng sinh học A/O. Trong suốt thời gian vận hành, chúng tôi chỉ thực hiện rửa màng bằng nước và sục khí bề mặt. Mô hình không xả bùn, toàn bộ bùn vẫn được giữ trong hệ thống xử lý tuy nhiên chất lượng nước sau xử lý vẫn rất tốt và ổn định, đáp ứng tiêu chuẩn xả thải ra nguồn loại A (QCVN 40:2012/BTNMT). Các kết quả trên cho thấy hiệu suất xử lý tốt hơn so với các công nghệ hiện đang áp dụng như bể phản ứng sinh học theo mẻ (SBR), công nghệ xử lý sinh học trong điều kiện kỵ khí-thiếu khí-hiếu khí (A^2O) đang được triển khai áp dụng để xử lý nước thải đô thị. Ngoài ra, một điểm mạnh của công nghệ này là không cần thiết phải bổ sung hóa chất điều chỉnh hàm lượng kiềm và hàm lượng chất hữu cơ, cũng như các hóa chất trợ keo tụ như PAC, giảm chi phí vận hành của dây chuyền xử lý.



Hình 4. Hàm lượng Amôni trong nước thải đầu vào và nước sau xử lý

5. Kết luận

Nhóm nghiên cứu đã khảo sát cụm mô hình xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học trong điều kiện thiếu khí-hiếu kết hợp với màng vi lọc đặt ngập (màng UF sợi rỗng) để xử lý nước thải sinh hoạt có tải trọng chất hữu cơ thấp. Kết quả vận hành mô hình liên tục trong hơn 5 tháng cho thấy với các điều kiện khác nhau về thời gian lưu thủy lực thì hiệu suất xử lý chất hữu cơ (COD) luôn ổn định và cao (lớn hơn 90%). Hiệu suất xử lý Nitơ (Nitơ tổng số, Amôni) tuy nhạy cảm hơn với sự thay đổi môi trường (nồng độ oxi hòa tan, tải trọng chất hữu cơ) tuy nhiên cũng rất cao, thỏa mãn yêu cầu xả thải nghiêm ngặt theo QCVN 40:2012/BTNMT. Hiệu suất xử lý Nitơ tăng khi tỷ lệ bùn tuần hoàn (BTH) từ bể hiếu khí sang bể thiếu khí tăng, và đạt giá trị cao nhất khi tỷ lệ BTH là 300% trong quá trình vận hành mô hình. Chúng tôi không phải điều chỉnh nồng độ kiềm và bổ sung thêm nguồn chất hữu cơ bên ngoài cho quá trình xử lý sinh học. Ngoài ra, toàn bộ bùn được lưu giữ trong quá trình 5 tháng vận hành. Các kết quả cho thấy công nghệ xử lý nước thải AO kết hợp với màng vi lọc đặt ngập rất phù hợp để xử lý loại nước thải sinh hoạt đô thị có tải trọng chất ô nhiễm thấp ở các khu vực có yêu cầu xả thải cao, eo hẹp về quỹ đất và không có điều kiện xử lý về bùn cặn. Công nghệ này rất phù hợp với các trạm xử lý nước thải phân tán, trong các khu đô thị mới, các tòa nhà chung cư cao cấp và khách sạn. Nước thải sau khi xử lý có thể tái sử dụng cho các công trình vui chơi giải trí và vệ sinh cho đô thị.

Tài liệu tham khảo

1. Chiemchaisiri, C. and Yamamoto, K., Vigneswarons, S., "Biological nitrogen removal under low temperature in a membrane bioreactor for domestic wastewater treatment", *Water Science & Technology* Vol. 25 No.10 pp 231-240, 1992.
2. Jiang T., Kennedy M., Guinzbourg B., Vanrollenghem P., Schippers J., 2005, "Optimising the operation of a MBR pilot plant by quantitative analysis of the membrane fouling mechanism", *Water Sci. Tech.* 51 (6), 19-25.
3. JICA, 2010, *Strengthening of operation and maintenance of sewerage facilities in Hanoi*, Final Report, December 2010.
4. Liu, R., Huang, X., Xi, J. and Qian, Y. (2005) *Microbial behavior in a membrane bioreactor with complete sludge retention*. *Process Biochemistry* 40, 3165–3170
5. Pollice, A., Laera, G. and Blonda, M. (2004), "Biomass growth and activity in a membrane bioreactor with complete sludge retention", *Water Research* 38, 1799–1808
6. Stephenson T, Judd S., Jefferson B., Brindle K (2001), *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*. IWA.