# NGHIÊN CỨU XỬ LÝ NƯỚC THẢI CÔNG NGHIỆP ĐƯỜNG BẰNG CÔNG NGHỆ SINH HỌC KỴ KHÍ UASB

**PGS.TS Lều Thọ Bách, KS. Phạm Văn Định**
*Đại học Xây dựng*
**ThS. Lê Hạnh Chi**
*Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam*

**Tóm tắt:** *Bài báo đề cập đến một số kết quả nghiên cứu xử lý nước thải công nghiệp đường quy mô phòng thí nghiệm bằng công nghệ xử lý sinh học kỵ khí (Bể xử lý sinh học dòng chảy ngược qua lớp bùn kỵ khí - Up flow Anaerobic Sludge Blanket). Mô hình thí nghiệm bể UASB (dung tích 12,5l) đã được thiết lập để xử lý hỗn hợp nước thải đường nhân tạo có nồng độ cacbon hữu cơ cao (TOC). Mô hình được vận hành liên tục với thời gian 440 ngày trong điều kiện ổn định nhiệt độ tại 37$^0$C. Hiệu quả xử lý của bể UASB đạt 80~98% tương ứng với giới hạn về tải lượng hữu cơ là 16 g-TOC/l.ngđ. Lượng chất hữu cơ phân hủy tính theo TOC được chuyển hóa thành: khí sinh học với thành phần $CO_2$ - 46%, $CH_4$ - 49% và sinh khối - 5%. Hệ số tăng sinh khối bùn được tính bằng 0.094 g-VSS/g-TOC. Để đạt được hiệu quả xử lý cao, bể UASB cần được vận hành trong điều kiện: i) Tỷ lệ các chất dinh dưỡng trong nước thải C: N: P = 350: 10: 2; ii) pH 6.8~7.2; iii) Nồng độ axit béo (VFAs) nhỏ hơn 1000mg/l; iv) Thời gian lưu nước lớn hơn 12 giờ.*

**Từ khóa**: *UASB, Nước thải công nghiệp đường, COD, TOC, VFAs*

**Summary:** *This article refers to the research on sugars industrial wastewater treatment using UASB reactor (Up flow Anaerobic Sludge Blanket) in laboratory. An UASB reactor with 12.5l of volume has been established for high strength sugary wastewater treatment. The UASB reactor operated at 37$^o$C for 440 days. The UASB reactor achieved 80~98% TOC reduction at VLRs up to 16 g-TOC/l.d. Mass balance calculations revealed that 46% and 49% of TOC removed was converted to $CO_2$ and $CH_4$ respectively, while the rest was converted to biomass with an average observed sludge yield of 0.094 g-VSS/g-TOC. For results of effective TOC removal efficiencies, the following parameters must be maintained at i) C: N: P = 350: 10: 2; ii) pH: 6.8~7.2; iii) VFAs less than 1000mg/l; and iv) HRT greater than 12 hrs.*

**Keywords:** *Waste water from processing, sugar industrial*

## I. MỞ ĐẦU

Sản xuất mía - đường là ngành công nghiệp đã có từ lâu ở Việt Nam. Để đáp ứng nhu cầu tiêu dùng trong nước cũng như xuất khẩu sản phẩm, ngành công nghiệp đường Việt Nam cũng đã có những bước phát triển lớn về qui mô sản xuất. Tuy nhiên, hiện nay hầu hết các cơ sở sản xuất đường ở Việt Nam đều chưa có trạm xử lý nước thải hoặc có nhưng hoạt động với hiệu quả thấp. Nước thải từ loại hình công nghiệp này có nồng độ các chất hữu cơ COD, BOD cao là một trong những nguồn gây ô nhiễm đáng kể tới các thuỷ vực sông hồ tại Việt Nam.

Ở Việt Nam phương pháp xử lý nước thải bằng bể UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket - Bể xử lý sinh học dòng chảy ngược qua lớp bùn kỵ khí) cũng đã được đề cập đến với những ưu điểm: hiệu quả xử lý cao, lượng bùn dư thấp và được ổn định tốt, nhu cầu về năng lượng ít và ngược lại có thể tận dụng lượng khí sinh học sinh ra trong quá trình xử lý như một nguồn năng lượng mới. Đó là phương pháp có tính ứng dụng cao trong điều

Người phản biện: **PGS.TS Phạm Thị Ngọc Lan**
Ngày nhận bài: 10/5/2013 - Ngày thông qua phản biện: 01/8/2013 - Ngày duyệt đăng: 25/9/2013

kiện Việt Nam. Tuy nhiên, để áp dụng vào thực tế cũng tồn tại nhiều vấn đề cần được nghiên cứu cụ thể. Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu xử lý nước thải công nghiệp đường bằng công nghệ sinh học kỵ khí UASB, nhằm làm rõ khả năng ứng dụng bể UASB trong xử lý nước thải công nghiệp đường trong điều kiện Việt Nam, đồng thời xác định các thông số kỹ thuật cần thiết cho việc tính toán thiết kế và vận hành bể

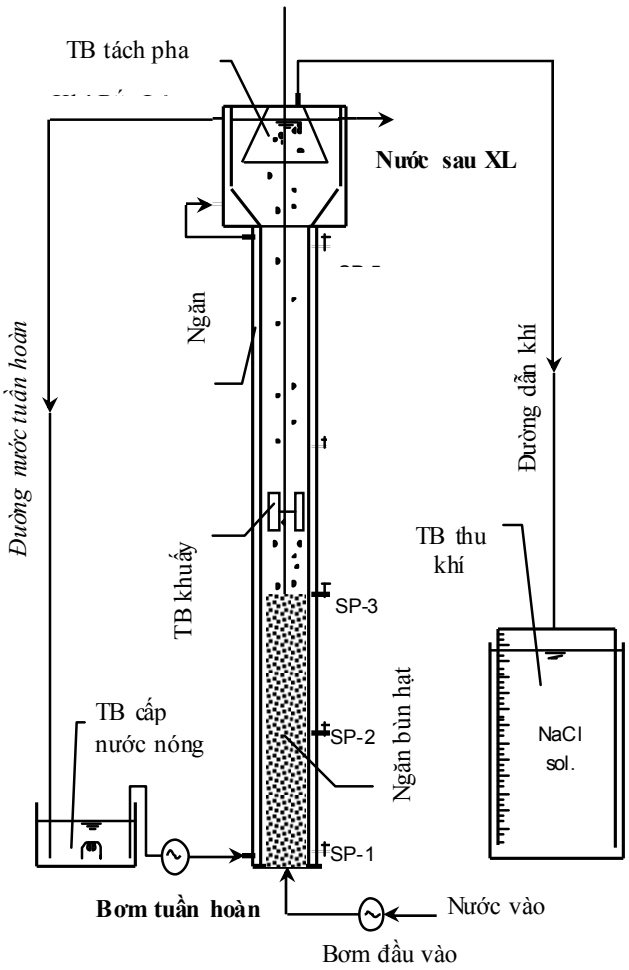
## II. BỐ TRÍ NGHIÊN CỨU TRÊN MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

### 2.1 Mô hình thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm áp dụng trong nghiên cứu được mô phỏng theo **Hình-1**. Bể UASB có hình trụ tròn, cấu tạo bởi hai lớp vỏ nhựa thuỷ tinh (acrylic glass). Kích thước phần trong của bể gồm: chiều cao 1,18m, dung tích 12,5l, trong đó khoang phân huỷ 7,5l (∅ 10cm, h= 100cm), khoang lắng 5,0 l (∅ 20cm, h= 18cm). Phần ngoài liên kết với hệ thống cấp và tuần hoàn nước nóng đảm bảo ổn định nhiệt độ bên trong bể theo yêu cầu nghiên cứu. Nước thải được bảo quản trong tủ lạnh ở nhiệt độ 4$^{o}$C và được bơm vào từ đáy bể UASB. Để nghiên cứu về sự phân bố nồng độ chất bẩn và sự thay đổi các đặc tính của bùn trong bể, dọc theo chiều cao bể có bố trí các vòi lấy mẫu (SP-1~SP-5). Tại khoang lắng có bố trí thiết bị (TB) tách các pha Khí-Rắn-Lỏng hình phễu đảm bảo thu hồi toàn bộ lượng khí sinh học sinh ra trong quá trình phân huỷ các chất hữu cơ, đồng thời các hạt bùn sẽ quay trở lại khoang phân huỷ nhờ tác dụng của trọng lực. Nước sau xử lý thoát ra qua cửa xả bố trí phía trên của bể.

### 2.2 Bùn gốc và hỗn hợp nước thải dùng trong nghiên cứu

**(1) Bùn gốc:** Bùn gốc dùng trong nghiên cứu là loại bùn hạt lấy từ bể UASB đang vận hành xử lý nước thải công nghiệp bia với các đặc tính: MLSS 78,5 g/L, VSS 69,4 g/L, cỡ hạt 1~3mm.




*Hình 1. Mô hình nghiên cứuLNT bằng bể UASB*

**(2) Thành phần của hỗn hợp nước thải nhân tạo:** Nước thải công nghiệp đường là loại nước thải có nồng độ BOD và COD cao, ở mức độ 10 ~ 50 g/L, tỷ lệ BOD/COD khoảng 0,75 ~ 0,9. Trong loại nước thải này, thành phần gây ô nhiễm chủ yếu là các bon hữu cơ dưới dạng sucrose ($C_{12}H_{22}O_{11}$), glucose ($C_6H_{12}O_6$)... [2].

Trong nghiên cứu này, để khống chế được nồng độ các bon hữu cơ trong nước thải ở các giai đoạn vận hành theo yêu cầu nghiên cứu, nước thải sử dụng là loại nước được pha chế nhân tạo từ các chất dinh dưỡng gồm: Các bon dưới dạng sucrose $C_{12}H_{22}O_{11}$, Nitơ- $NH_4Cl$, Phốt pho- $KH_2PO_4$, với nồng độ theo tỷ lệ C: N: P tương ứng trong từng giai đoạn vận hành. Tỷ lệ C: N: P = 350:5:1 thường có trong nước thải công nghiệp đường và một số dạng nước thải công

nghiệp giàu hữu cơ khác [2,3] được áp dụng trong giai đoạn nghiên cứu đầu. $NaHCO_3$ được thêm vào với nồng độ thích ứng để giữ độ pH trong bể ở mức trung tính nhưng không vượt quá 8000 mg/L nhằm hạn chế ảnh hưởng của các ion $Na^+$ (tồn tại với nồng độ cao) tới quá trình phân huỷ các chất hữu cơ [1].

### 2.3 Chế độ vận hành mô hình nghiên cứu

Nghiên cứu trên mô hình thí nghiệm được khởi động từ tháng 6 năm 2010 và được vận hành liên tục trong thời gian 440 ngày. Tại mỗi giai đoạn nghiên cứu, mô hình được vận hành với chế độ ổn định về thời gian lưu nước (HRT), tỷ lệ dinh dưỡng C:N:P và nhiệt độ. Nồng độ TOC được điều chỉnh tăng dần khi kết quả quan trắc cho thấy mô hình đạt hiệu suất xử lý ổn định (ổn định về lượng khí sinh học phát sinh và hiệu suất khử TOC).

*Bảng1. Chế độ vận hành mô hình (tháng 6/2010)*

| Giai đoạn | Thời gian vận hành (ngày) | Nồng độ TOC đầu vào (mg/L) | HRT (h) | Tỷ lệ phân hủy chất hữu cơ (gTOC/L.ngđ) | C: N: P | Nhiệt độ (°C) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 ~ 80 | 500 ~ 6000 | 36 | 0.33 ~ 4 | 350: 5: 1 | 37 |
| 2 | 81~161 | 1000 ~ 16000 | 36 | 0.65 ~ 10.6 | 350: 10: 2 | 37 |
| 3 | 162~206 | 1000~ 4000 | 24 | 1 ~ 4 | 350: 10: 2 | 37 |
| 4 | 207~211 | 6000 | 18 | 8 | 350: 10: 2 | 37 |
| 5 | 212~259 | 4000 ~ 8000 | 12 | 8 ~ 16 | 350: 10: 2 | 37 |
| 6 | 260~307 | 1000 ~ 6000 | 6 | 4 ~ 24 | 350: 10: 2 | 37 |
| 7 | 308~352 | 1500 ~ 4000 | 4 | 9 ~ 24 | 350: 10: 2 | 37 |
| 8 | 353~440 | 2000 ~ 4000 | 12 | 4 ~ 8 | 350: 10: 2 | 37 |

### 2.4 Các chỉ tiêu quan trắc và phương pháp phân tích

Các chỉ tiêu quan trắc, chu kỳ lấy mẫu và phương pháp phân tích được áp dụng theo phương pháp chuẩn [4] như nêu trong Bảng- 2.

*Bảng 2. Chỉ tiêu quan trắc và phương pháp phân tích*

| Chỉ tiêu | Chu kỳ | Phương pháp phân tích | Thiết bị / Tiêu chuẩn |
|---|---|---|---|
| pH | 1 lần/ ngày | Điện cực thuỷ tinh | Tiêu chuẩn PTNT (Nhật) |
| TOC | 3 lần/ tuần | Nung, phân tích tia tử ngoại | SIMADZU TOC-5050A |
| Axit bay hơi (VFAs) | 3 lần/ tuần | Chưng cất | Standard methods 19th |
| SS | 3 lần/ tuần | Lọc- sấy 105°C | Tiêu chuẩn PTNT (Nhật) |
| MLSS, VSS (*) | 1 lần/ tháng | Ly tâm, sấy 105°C; nung 550°C | Tiêu chuẩn PTNT (Nhật) |
| Thành phần không khí | 1 lần/ tháng | Sắc ký khô | SHIMADZU GC14B |

(*) MLSS- (Mixed liquior suspended solid) - Nồng độ bùn (chất khô)
VSS- (Volatile suspended solid) - Nồng độ chất bay hơi (vi khuẩn)

## III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1 Xác định các thông số vận hành tối ưu

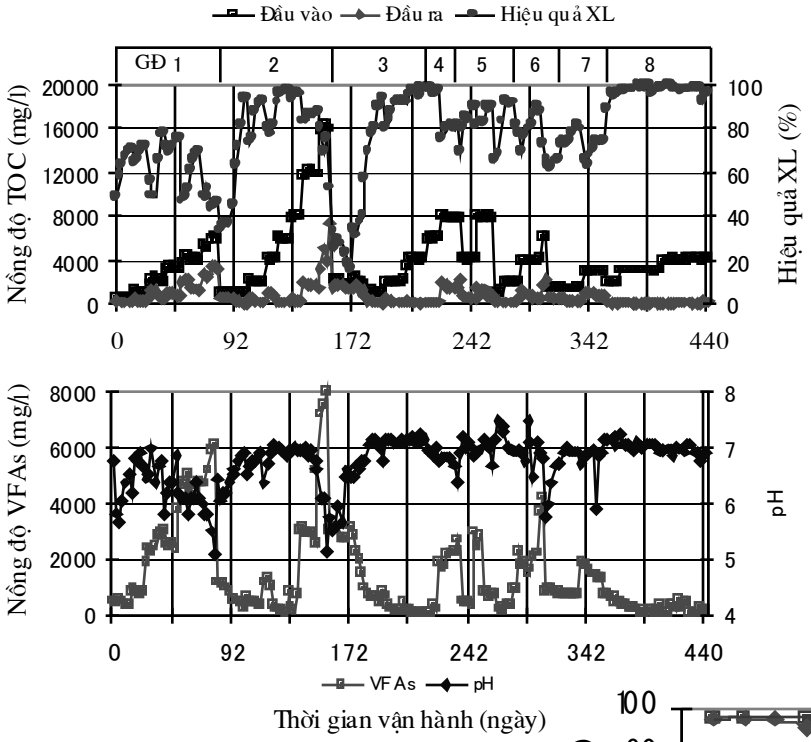
Kết quả nghiên cứu sự thay đổi hiệu quả xử lý TOC, nồng độ axit béo dễ bay hơi và độ pH của nước sau xử lý trong quá trình vận hành bể (440 ngày) được mô tả trên **Hình- 2**.

**(1) Tỷ lệ chất dinh dưỡng C, N, P trong nước thải:**

Trong giai đoạn vận hành 1, với thời gian lưu nước (HRT) 36 h, hàm lượng các chất dinh dưỡng trong nước thải được pha theo tỷ lệ C: N: P = 350: 5: 1, nồng độ TOC tăng từ 500 đến 6000 mg/l. Kết quả trên **Hình- 2(a)** cho thấy hiệu quả xử lý TOC thấp, trung bình ở mức 60%. Nguyên nhân có thể do thiếu về lượng nitơ và phốt pho so với các bon trong tỷ lệ nêu trên. Trong giai đoạn vận hành 2, lượng nitơ và phốt pho trong hỗn hợp nước thải được thêm vào gấp 2 lần so với tại giai đoạn 1.

Kết quả cho thấy, mặc dù nồng độ TOC tăng tới 16.000 mg/l nhưng hiệu quả xử lý TOC vẫn

đạt 80~98%. Như vậy tỷ lệ C: N: P = 350: 10: 2 là thích hợp với sự phát triển của các vi sinh vật có ích cho quá trình xử lý nước thải đường bằng phương pháp UASB.



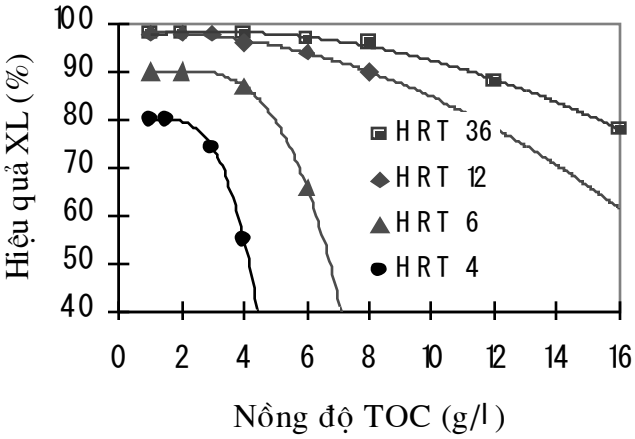

*Hình 2. Sự thay đổi theo thời gian về:*

(a) Hiệu quả xử lý;

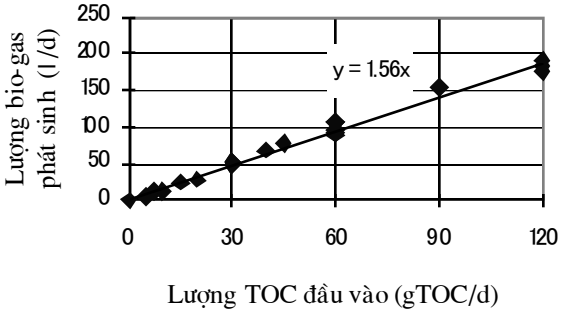
(b) Nồng độ axit béo dễ bay hơi và độ pH trong nước sau xử lý.

**(2) Nồng độ axit béo dễ bay hơi (VFAs) và độ pH của nước sau xử lý:** Sự thay đổi nồng độ VFAs và độ pH của nước thải sau xử lý trong suốt quá trình vận hành được mô tả trên **Hình 2(b)**. Kết quả cho thấy sự gia tăng về nồng độ VFAs trong nước thải làm cho độ pH và hiệu quả xử lý TOC giảm. Như vậy, sự tồn tại của VFAs ở nồng độ cao ức chế quá trình phát triển của các loài vi sinh vật kỵ khí có ích, gây ảnh hưởng xấu tới hiệu quả xử lý nước thải. Từ kết quả nêu trờn **Hình- 2 (b)** cho thấy để đạt hiệu quả xử lý nước thải cao, việc duy trì các thông số như nồng độ VFAs, độ pH của nước thải sau xử lý ở các giới hạn: Nồng độ VFAs nhỏ hơn 1000mg/l, pH trong khoảng 6,8 ~7,2 là hữu ích.

**(3) Tải lượng hữu cơ và thời gian lưu nước:** Tại các giai đoạn vận hành từ 2 đến 7, HRT được điều chỉnh từng bước từ 36 h đến 4 h. Từ **Hình-3** có thể nhận thấy với




*Hình 4.* Quan hệ giữa hiệu quả xử lý và HRT




*Hình 5. Quan hệ về lượng giữa TOC đầu vào và khí phát sinh*

giới hạn tải lượng hữu cơ 16 g-TOC/L.ngđ (tương đương với 42,72 g-COD/L.ngđ), hiệu quả xử lý đạt trên 80%. Giới hạn này có giá trị cao về mặt thực tế, chứng tỏ việc áp dụng phương pháp UASB trong xử lý nước thải đường có hiệu quả cao.

**Hình- 4** mô tả kết quả nghiên cứu hiệu quả xử lý ứng với các trường hợp khác nhau về nồng độ TOC trong nước thải và thời gian lưu nước (HRT). Đối với trường hợp nước thải có nồng độ TOC cao, để đạt được hiệu quả xử lý trên 80%, cần vận hành với HRT tối thiểu là 12 h. Dựa vào kết quả nêu trên **Hình- 4** có thể lựa chọn thời gian lưu nước phù hợp với nồng độ TOC trong nước thải và mức độ cần xử lý trong việc tính toán thiết kế bể UASB.

### 3.2 Sản lượng khí và hệ số tăng sinh khối

Kết quả nghiên cứu về mối quan hệ giữa lượng TOC trong nước thải được cấp vào bể và lượng khí sinh học phát sinh được mô tả trên **Hình- 5**. Từ độ dốc của đường hồi qui tuyến tính có thể xác định được sản lượng khí với hàm giá trị 1,56 l/g-TOC.

Hệ số tăng sinh khối bùn được xác định dựa trên các số liệu về tổng lượng TOC bị phân huỷ, lượng khí $CO_2$ và $CH_4$ trong khí phát sinh. **Hình- 6** mô tả kết quả nghiên cứu về mối quan hệ giữa tốc độ xử lý TOC và tốc độ chuyển hoá thành các thành phần $CO_2$, $CH_4$ trong khí phát sinh. Từ độ dốc của các đường hồi qui xác định được 46% lượng TOC bị phân huỷ được chuyển hoá thành $CO_2$, tương tự 49% thành $CH_4$ còn lại 5% được chuyển hoá thành bùn. 1 g sinh khối ($C_5H_7O_2N$) được tính bằng 0,53 g-TOC nên hệ số tăng sinh khối bùn được tính bằng 0,094 g-VSS/g-TOC (0,05/0,53).

## 4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả thu được trong thời gian nghiên cứu quá trình xử lý hỗn hợp nước thải đường bằng bể UASB, có thể rút ra được các kết luận sau:

(1) Trong xử lý nước thải công nghiệp đường, phương pháp xử lý sinh học kỵ khí bằng bể UASB là phương pháp khả thi thích hợp với điều kiện Việt Nam. Với tải lượng hữu cơ 0,3~16 g-TOC/L.ngđ bể UASB có khả năng xử lý với hiệu quả 80~98%, lượng khí sinh học sinh ra với sản lượng 1,56 l/g-TOC, lượng bùn phát sinh với tỷ lệ tăng sinh khối 0,094 g-VSS/g-TOC

(2) Để thu được hiệu quả xử lý cao, cần đảm bảo các điều kiện vận hành sau:

- C : N : P = 350 : 10 : 2;
- Thời gian lưu nước tối thiểu (HRT): 12 h;
- Tải lượng hữu cơ: dưới 16 g-TOC/l.ngđ;
- pH: 6,8 ~ 7,2;
- Nồng độ axit béo dễ bay hơi (VFAs): dưới 1000 mg/l

Kết quả nghiên cứu đã cung cấp thêm cơ sở khoa học cho khả năng ứng dụng bể UASB trong xử lý nước thải công nghiệp đường theo điều kiện Việt Nam, đồng thời xác định các thông số kỹ thuật cần thiết cho việc tính toán thiết kế và vận hành bể.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. R.F.HICKEY, W.M. WU, M.C. VEIGA AND JONES: Start-up, operation, monitoring and control of high-rate anaerobic treatment systems, Wat.Sci.Tech.V.24, No.8, pp. 207-255, 1991.

[2]. W.M. Wiegant and G. Lettinga: Thermophilic Anaerobic Digestion of Sugars in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors, Biotechnology and Bioengineering, Vol. 27, 1603-1607, 1985.

[3]. TIN SANG KWONG AND HERBERT H.P. FANG, Member, ASCE: Anaerobic degradation of cornstarch in wastewater in two upflow reactors, Journal of Environmental Engineering, Journal of Environmental Engineering, Vol. 122, No.1, pp. 9-15, January 1996.

[4]. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, MJ Taras at. all. American Public Health Association, NY, 1971.