

## XỬ LÝ NƯỚC RỈ RÁC BẰNG CÁC THIẾT BỊ CÔNG NGHỆ SINH HỌC KỶ KHÍ CAO TỐC UASB, FBABR VÀ UFAF KẾT HỢP VỚI FBR

Trần Minh Chí<sup>1</sup>, Trần Hiếu Nhuệ<sup>2</sup>, Lâm Minh Triết<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Viện Kỹ thuật Nhiệt đới và Bảo vệ Môi trường, <sup>2</sup>Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

<sup>3</sup>Viện Môi trường và Tài nguyên – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 18 tháng 9 năm 2003)

**TÓM TẮT:** Quá trình phân hủy nước rỉ rác trên các thiết bị kỹ khí cao tải dạng UASB, FBABR và UFAF cho thấy trong khoảng thời gian từ 70 đến 90 ngày, sinh khối kỹ khí có thể bắt đầu cố định hóa với mật độ khá cao, gần với dạng hạt. Trong khoảng thời gian 190 – 200 ngày, sinh khối dạng hạt tiến triển phức tạp về hình thái do ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác nhau như bản chất nước thải, độc tố, nhưng có thể đạt một hoạt tính lên tới > 5g COD/g VSS.ngày, cho phép chịu tải trọng hữu cơ lên tới 30 – 32 g COD/L.ngày với hiệu suất loại COD lên tới 90 -94% đối với UASB và FBABR, tới 96% đối với UFAF. Tải trọng hữu cơ của các thiết bị UASB và FBABR có thể đạt được cao hơn đáng kể so với thiết bị UFAF. Bù lại, thời gian hình thành và thích nghi của bùn trong thiết bị UFAF ngắn hơn đáng kể so với UASB và FBABR.

Để tạo lập và duy trì sinh khối kỹ khí cố định hóa ở dạng hạt, có thể sử dụng WAP polymer gốc polyacrylamid hay than hoạt tính Norit PK1.3. Bùn hạt có thể hình thành trong thời gian sau 2 tháng, với hiệu quả phân hủy hữu cơ đạt trên 75%.

Hậu xử lý bằng thiết bị sinh học đệm cố định (FBR) cho thấy có thể loại các chất hữu cơ, còn lại sau khi qua khâu phân hủy kỹ khí, với hiệu suất tới > 90%. Kết hợp quá trình, kỹ khí UASB và quá trình FBR cho phép loại COD với hiệu quả khoảng 99% và thậm chí cao hơn.

### 1. Đặt vấn đề

Nước rỉ bãi rác có thành phần rất phức tạp và khả năng gây ô nhiễm cao (NTViệt, 1997; TMChí 2001), và đòi hỏi một dây chuyền công nghệ xử lý kết hợp, bao gồm nhiều khâu như xử lý sơ bộ, xử lý bậc hai, xử lý bậc ba, để đạt tiêu chuẩn thải. Do yêu cầu về hiệu quả loại BOD và COD cao (95 - 99%), công đoạn loại bỏ các chất hữu cơ sẽ là khâu quyết định. Nhiều loại hình công nghệ khác nhau đã được thử nghiệm và áp dụng cho mục đích này, nhưng công nghệ sinh học tỏ ra hấp dẫn vì có chi phí đầu tư vận và hành tương đối thấp.

Do chỉ số BOD và COD của nước rỉ bãi rác rất cao, từ 10.000 – 50.000 mg/l tùy bản chất và tuổi bãi rác, các kỹ thuật sinh học hiếu khí cổ điển như bùn hoạt tính với các phương án khác nhau đều không thể áp dụng với tư cách là khâu loại bỏ hữu cơ chủ chốt vì đòi hỏi nhiều năng lượng cho quá trình cấp khí và mặt bằng rộng lớn. Các giải pháp công nghệ sinh học kỹ khí hiện đại được phát triển và hoàn thiện trong thập niên 80, 90 (Speece, 1996) có thể áp dụng vì chúng cho phép vận hành hệ thống với một tải trọng hữu cơ lớn hơn nhiều lần và không đòi hỏi cấp khí.

Có nhiều kỹ thuật cố định hóa vi khuẩn kỹ khí nhằm nâng cao hiệu quả phân hủy các chất hữu cơ, dẫn đến nhiều loại hình thiết bị khác nhau. Các loại hình thiết bị kỹ khí cao tải được áp dụng rộng rãi nhất là:

- **Hệ thống lọc kỹ khí dòng chảy ngược (Upflow Anaerobic filter, UFAF)**

Hệ thống lọc kỹ khí dòng chảy ngược sử dụng vật liệu trơ có cấu hình nhất định hình nhằm đảm bảo một diện tích bề mặt đủ lớn làm giá thể cho vi sinh vật. Hệ thống có thể hoạt động ở dạng dòng chảy từ trên xuống hoặc từ dưới lên. Sau một thời gian hoạt động, màng vi sinh vật hình thành và phát triển trên bề mặt giá thể, tạo thành tác nhân phân hủy các hợp chất hữu cơ.

- **Hệ thống lọc đệm giãn nở kỹ khí (Fluidized Bed Anaerobic Bioreactor, FBABR)**

Hệ thống lọc đệm giãn nở kỹ khí sử dụng các vật mang có tính chất lý hóa thích hợp được đưa vào để cố định sinh khối hoạt tính trên bề mặt vật mang. Các hạt vật liệu với màng vi sinh vật bám vào

được phân bố đều khắp thiết bị (đệm giãn nở) nhờ tốc độ nước thải chảy ngược thích hợp. (Malina,1992)

- **Công nghệ đệm bùn kỵ khí dòng chảy ngược (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB).**

Hệ thống UASB dựa vào các vi khuẩn kỵ khí cố định hoá thành bùn ở dạng bông đặc hoặc dạng hạt, có hoạt tính rất cao và khả năng lắng tốt, lưu lại bên trong thiết bị nhờ một thiết bị tách ba pha khí/lỏng/rắn lắp ở bên trên, tạo nên một lớp đệm bùn ở đáy bể. Nước thải được đưa vào từ dưới lên xuyên qua lớp bùn sinh học này và quá trình phân hủy kỵ khí diễn ra tại đây (Lettinga,1983)

Mục tiêu của nghiên cứu này là so sánh các ưu nhược điểm của các loại hình công nghệ trong quá trình áp dụng để xử lý nước rỉ rác trên một số phương diện như tốc độ cố định sinh khối và hiệu quả phân hủy hữu cơ.

Khả năng đẩy nhanh quá trình cố định hoá sinh khối của một số vật liệu như WAP (polyacrylamid) và than hoạt tính hạt cũng được khảo sát và đánh giá.

Để xác định khả năng phân hủy sinh học của nước thải sau khi qua giai đoạn xử lý kỵ khí, mô hình hậu xử lý áp dụng kỹ thuật hiếu khí đệm cố định (FBR) cũng được thử nghiệm.

## 2. Vật liệu và phương pháp

**2.1. Nước rỉ rác:** được lấy từ bồn ủ rác thí nghiệm 4m<sup>3</sup>. Thành phần rác cấp vào bồn ủ và điều kiện ủ mô phỏng quá trình tự nhiên của bãi rác chôn lấp hợp vệ sinh (TMChí, 2001).

**2.2. Sinh khối:** Nguồn sinh khối cấp cho thí nghiệm là bùn kỵ khí lấy từ bể UASB đang hoạt động của nhà máy bia Việt nam (Heineken) với hoạt tính 0.8 g COD/g VSS.ngày.

**2.3. Dinh dưỡng:** Một số khoáng chất cấp thêm để bổ sung nguồn dinh dưỡng cho vi khuẩn hoạt động. Thành phần muối khoáng pha trong dung dịch dinh dưỡng (dung dịch gốc) như sau: MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O 0,7gr/l, KCl 0,5 gr/l, NH<sub>4</sub>Cl 0,34gr/l, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0,2gr/l, NaHCO<sub>3</sub> 1,26gr/l, và các muối vi lượng: MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O 0,44mg/l, ZnCl<sub>2</sub> 0,1mg/l, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0,25mg/l, Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> 0,05mg/l, NiSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0,05mg/l, CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O 0,47 mg/l, CoSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O 2,7mg/l.

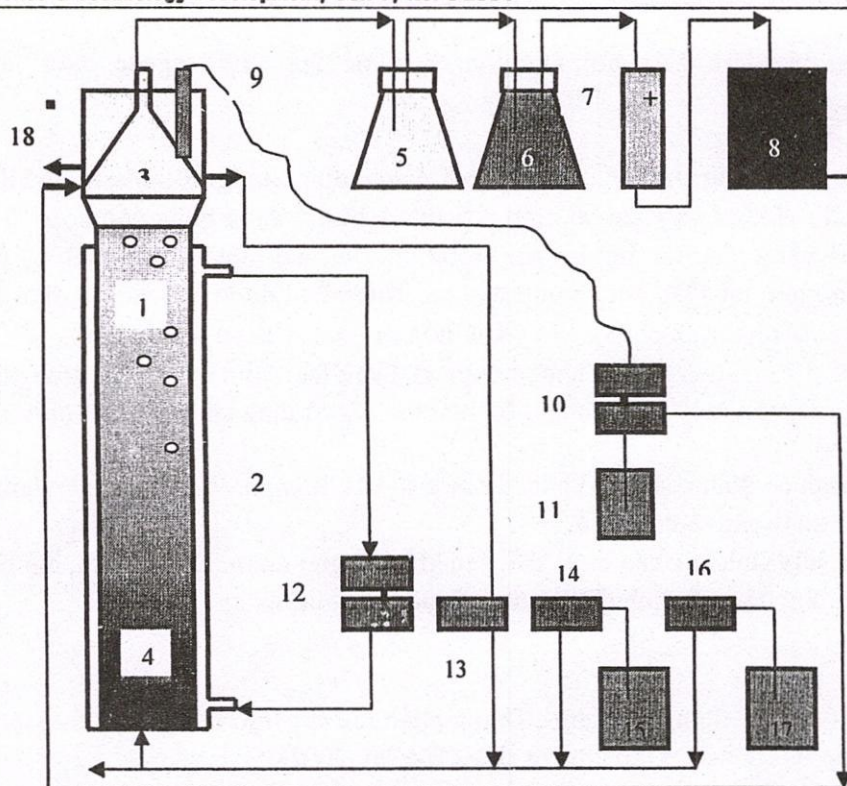
### 2.4. Các mô hình nghiên cứu

- **Thiết bị UFAF, FBABR và UASB**

Các mô hình UFAF và UASB được thiết kế trên cột thủy tinh 2 lớp với thể tích 5,0 L, đường kính trong 80mm.. Trong cột UFAF lắp đặt vật liệu đệm polyacrylamid dạng sợi, có diện tích bề mặt khoảng 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Mô hình FBABR được thiết kế trên cột thủy tinh 2 lớp với thể tích 4,1 L, đường kính trong 60mm, bên trong lắp đặt vật liệu cao su dạng hạt đường kính 1 – 1,5 mm, có tỉ trọng 1,1 – 1,3 g/cm<sup>3</sup>, với lượng 200g/thiết bị. Dòng hồi lưu sử dụng bơm Watson Marlow 505 Di, dòng nước thải và dòng dinh dưỡng sử dụng bơm Watson Marlow 205 U. Kiểm soát pH bằng pH – controler E (Hình 1), với các thông số vận hành cơ bản được trình bày trên Bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. Thông số vận hành của các thiết bị kỵ khí cao tải

Thông số vận hành	Đơn vị	Trị số
pH		6.8-7.5
Nhiệt độ	°C	30°C
Tốc độ dòng	m/h	1.2-2
Thời gian lưu nước	h	8.6 – 10.4



**Chú thích:**

1. Cột phản ứng
2. Lớp vỏ kép
3. Phễu tách khí
4. Đệm bùn
5. Bình tam giác
6. Bình tam giác chứa NaOH 30%
7. Ống đựng Silicagel
8. Bình Mariotte
9. Điện cực pH
10. Hệ thống kiểm soát pH
11. Dung dịch NaOH hoặc HCl
12. Bộ điều nhiệt
13. Bơm hồi lưu
14. Bơm cơ c hất
15. Dung dịch cơ chất
16. Bơm dinh dưỡng
17. Dung dịch dinh dưỡng
18. Vòi lấy y mẫu

Hình 1 : Mô hình thiết bị kỵ khí cao tải

**Thiết bị FBR**

Thiết bị FBR là cột thủy tinh có thể tích 5,0 lít, bên trong được lắp đặt vật liệu đệm polyacrylamid dạng sợi, có diện tích bề mặt khoảng 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> làm giá thể cho vi sinh vật bám dính.. Lượng sinh khối cấy vào cột khoảng 0,5 lít bùn hoạt tính hiếu khí. Không khí được cấp dư. Nước thải đầu vào cột FBR là nước đầu ra của cột UASB. Dinh dưỡng được điều chỉnh theo tải lượng đầu vào.

**2.5. Lấy mẫu và phân tích**

Mẫu được lấy hai ngày/1lần tại điểm lấy mẫu ở đỉnh cột và được phân tích ngay hoặc bảo quản trong điều kiện lạnh 4°C. Các chỉ tiêu đo đạc: COD, pH, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> và VFAs.

COD được phân tích bằng phương pháp bicromat, SO<sub>4</sub> được phân tích bằng phương pháp đo độ đục, H<sub>2</sub>S được phân tích bằng phương pháp xanh methylen theo Standard Methods (1995). CH<sub>4</sub> đo bằng phương pháp sử dụng bình Mariotte và cân trọng lượng.

**2.6. Tính toán và đánh giá kết quả**

Dựa trên phương trình cân bằng vật chất và các cân bằng pha như đã mô tả chi tiết trong các nghiên cứu đã công bố (T.M.Chí và ctv, 2000,a,b,c)

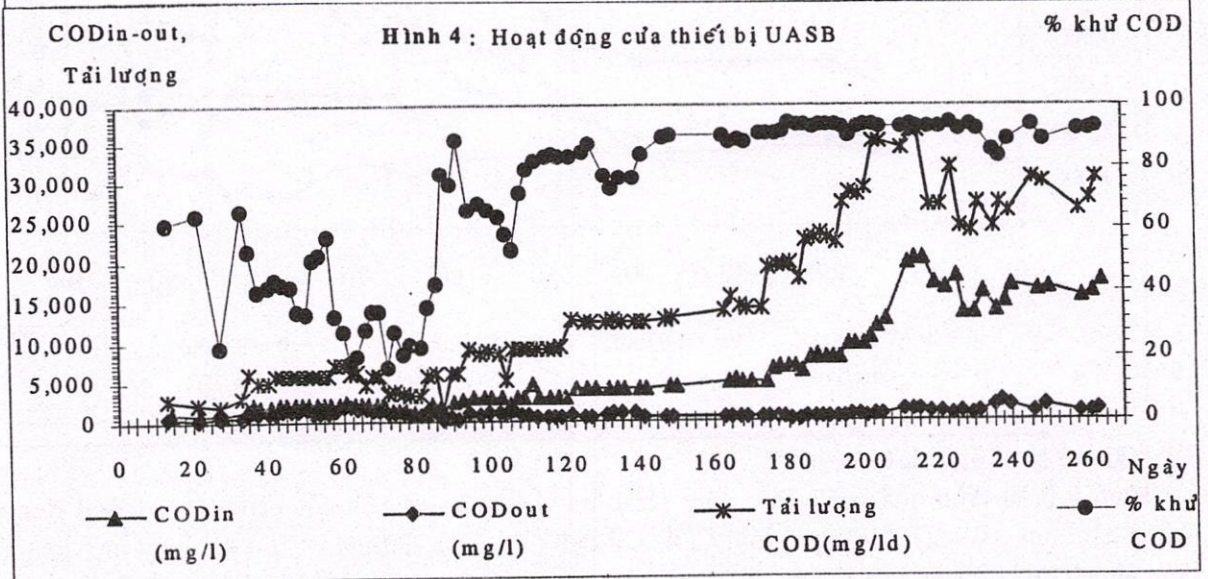
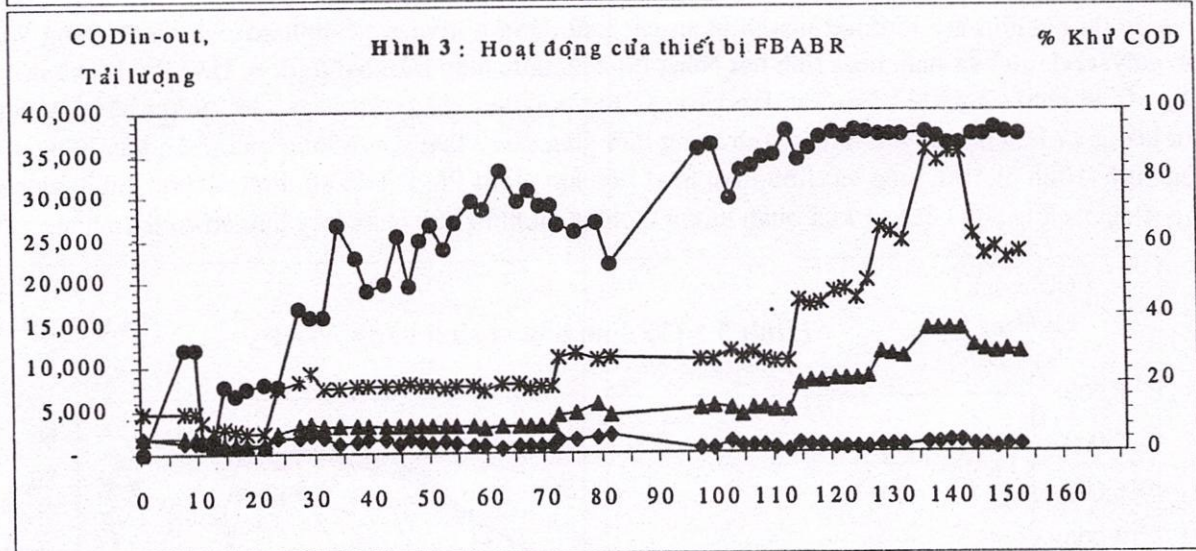
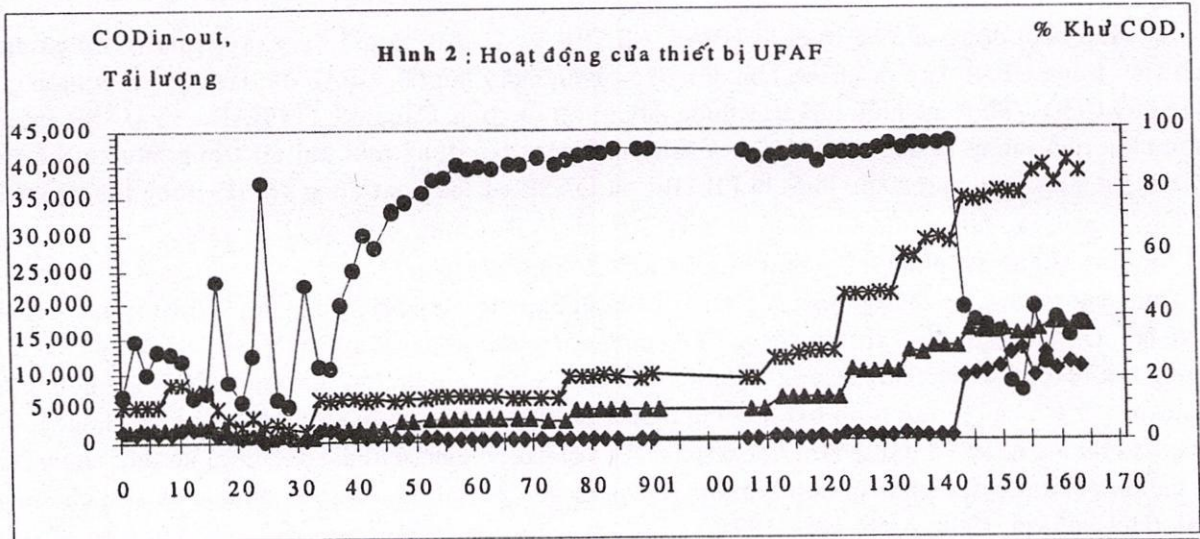
**3. Kết quả và thảo luận :**

**3.1. Hiệu quả phân hủy hữu cơ**

Hình 2 biểu diễn quá trình phân hủy chất hữu cơ nước rỉ rác trên thiết bị lọc kỵ khí (gọi tắt là cột UFAP), với thời gian thí nghiệm 164 ngày. Tải trọng hữu cơ cột UFAP được tăng dần từ 5 – 35 gCOD/l.ngày. Trong các ngày từ 0 – 36, với tải trọng khởi động 5g COD/l.ngày, hiệu quả khử COD khá thấp và không ổn định, chỉ đạt từ 10 – 30%. Từ ngày 37 đến ngày 58 hiệu quả khử COD tăng rất nhanh từ 23,5 – 88,6% và nhanh chóng đạt sự ổn định 90 – 91%. Tải trọng hữu cơ tiếp tục tăng dần theo các mức 9,5 ; 12,7 ; 21,2 ; 26,8 ; 29,3 và 35,7 gCOD/l.ngày. Trong giai đoạn từ 9,5 gCOD/l.ngày đến 29,3 gCOD/l.ngày ứng với giai đoạn từ ngày 77 – 142, hiệu quả khử COD tăng đều và ổn định ở mức 92 – 96%. Khi tiếp tục tăng tải lượng lên 35,7 gCOD/l.ngày, hiệu quả khử COD bắt đầu giảm rất nhanh từ 96% xuống còn 18,4% trong ngày 152.

Hình 3 biểu diễn quá trình phân hủy chất hữu cơ nước rỉ rác, từ ngày 0 đến ngày 152 trên thiết bị kỵ khí đệm giãn nở (gọi tắt là cột FBABR). Tải trọng hữu cơ cột FBABR được tăng dần từ 2,5 – 35

gCOD/l.ngày. Trong các ngày từ 0 – 23 hiệu quả khử COD đạt rất thấp (từ 3,3 – 19,7%). Từ ngày 25 đến ngày 81, hiệu quả khử COD tăng dần từ 46 – 67% và không ổn định. Hiệu quả khử COD thật sự ổn định từ ngày 97 trở đi, cho đến ngày 152 và đạt khá cao từ 90 – 94,5%, ứng với khoảng tải lượng tăng cao từ 11 – 35gCOD/l.ngày



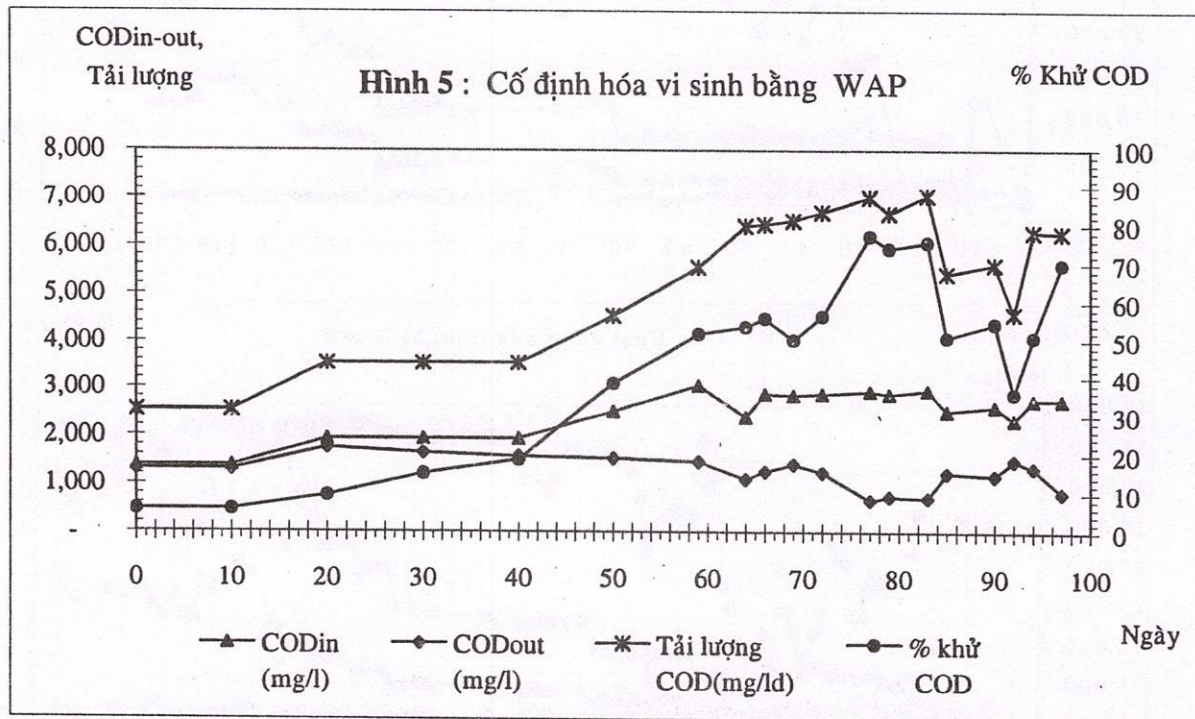
Trên hình 4 là đồ thị biểu diễn quá trình phân hủy chất hữu cơ nước rỉ rác, từ ngày 0 đến ngày 240 trên cột UASB. Tải trọng hữu cơ thể tích được tăng dần theo từng giai đoạn từ 5 – 35 gCOD/l.ngày. Từ ngày 0 đến ngày 86 hiệu quả khử COD chỉ đạt 17 – 50%. Từ ngày 87 đến ngày 148 hiệu quả khử COD tăng dần đạt từ 53 – 84%,. Từ ngày 149 đến ngày 240 hiệu quả khử COD tăng và ổn định đạt 90 – 94%.

So sánh hoạt động của ba thiết bị UFAF, FBABR và UASB có thể thấy rằng quá trình cố định sinh khối trong UFAF xảy ra nhanh hơn đáng kể. Đến ngày thứ 60, UFAF đã đạt được một hiệu quả phân hủy COD ~90 % và hiệu quả này được duy trì rất ổn định. Các thiết bị FBABR và UASB chỉ đạt được hiệu quả tương tự sau ngày 100, và hiệu quả này dao động mỗi khi tải trọng hữu cơ thể tích (VOL) gia tăng. Tuy nhiên các thiết bị FBABR và UASB có thể hoạt động với tải trọng lên đến > 35 g COD/l.ngày, cao hơn nhiều so với thiết bị UFAF với VOL ở mức < 29 gCOD/l.ngày.

**3.2. Sự hình thành và phát triển của bùn kỵ khí trong thiết bị**

Trong suốt thời gian thí nghiệm, hình thái bùn (sludge morphology) trong cột UASB tiến triển khá phức tạp. Ở giai đoạn đầu, khi tải lượng COD còn tương đối thấp, < 4 g/l. ngày sinh khối kỵ khí có xu hướng tạo thành bùn hạt trong vòng 1 tháng từ khi cấy. Tuy nhiên, khi tải lượng COD trở nên tương đối cao, > 5 g/l. ngày, quá trình hạt hóa chững lại và khi tải trọng hữu cơ vượt 15 g COD/l.ngày, bùn lại có xu hướng quay về dạng đậm đặc đồng nhất, với các vi khuẩn hình sợi chiếm ưu thế. Hai yếu tố có thể ảnh hưởng quyết định đến quá trình tạo hạt và ổn định hạt là tải trọng hữu cơ và bản chất nước thải. (Hulshof Pol, 1988, Alphenaar, 1994)

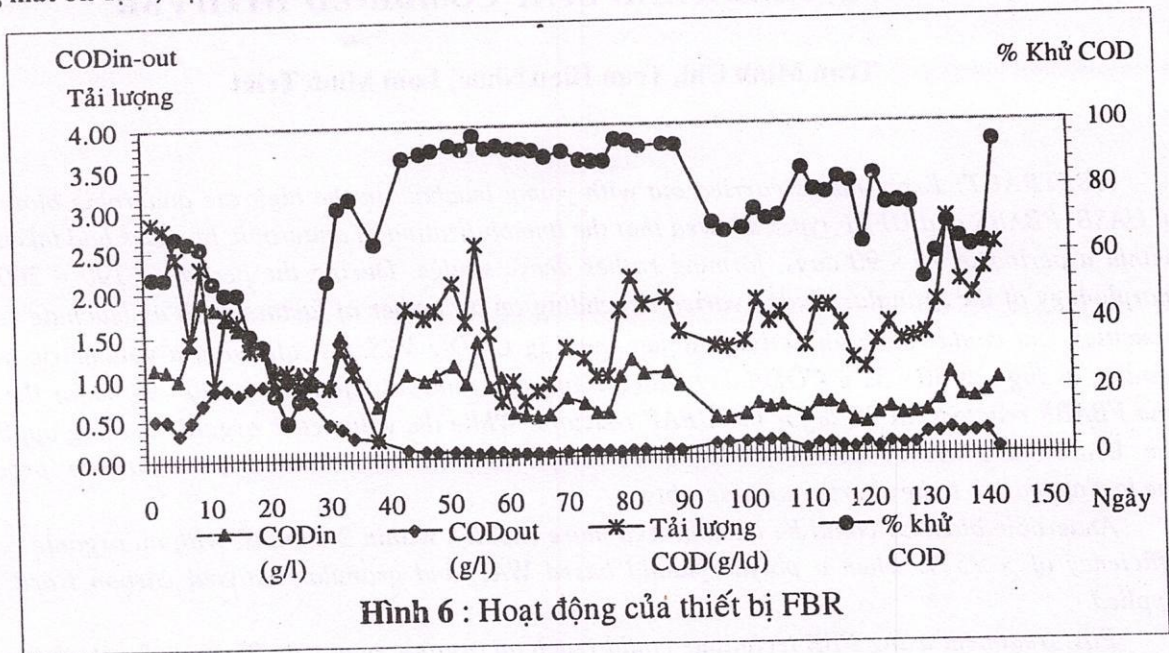
Các thí nghiệm tạo bùn hạt nhanh bằng cách sử dụng polymer cố định hóa vi khuẩn dạng WAP gốc polyacrylamid và than hoạt tính hạt Norit PK 1-3, thực hiện trên hai thiết bị UASB đối chứng, cho thấy các vi khuẩn kỵ khí bám dày đặc vào các hạt polymer chỉ sau ba ngày kể từ khi bắt đầu châm bùn loãng và bùn hạt có thể hình thành trong thời gian sau 2 tháng, với hiệu quả phân hủy hữu cơ đạt trên 70% (Hình 5). Sử dụng vật liệu than hoạt tính hạt Norit PK 1-3 để cố định các vi sinh dạng bông xốp (flocs), cũng cho kết quả khả quan tương tự, mặc dù hiệu quả phân hủy hữu cơ có thấp hơn.



**3.3. Hậu xử lý bằng thiết bị FBR**

Hình 6 biểu diễn quá trình phân hủy hiếu khí chất hữu cơ trên cột FBR (Fixed Bed Reactor). Trong các ngày 0 – 27, hiệu quả loại COD chỉ đạt 10 – 30%. Từ ngày 30 – 43, hiệu quả loại COD tăng nhanh từ 52,8 – 90,2%. Trong thời gian từ ngày 43 đến ngày 89, hiệu quả loại COD của cột FBR

đạt rất cao và ổn định từ 90 – 95%. Từ ngày 90 đến ngày 142 hiệu quả khử COD thấp hơn và có xu hướng mất ổn định, đạt từ 63 – 93%.



Hiệu quả loại COD của thiết bị FBR phụ thuộc vào 2 yếu tố chính: tải trọng hữu cơ thể tích (VOL) và thời gian lưu thủy lực (HRT), như được thể hiện rõ trong bảng 2 dưới đây.

Bảng 2: So sánh các giai đoạn hoạt động của FBR

Giai đoạn (ngày)	Tải trọng hữu cơ thể tích (VOL) trung bình (g COD/l.ngày)	Thời gian lưu thủy lực (HRT) trung bình, h	Hiệu quả loại COD trung bình, %
43 -89	1.485	13.6	92.3
95-142	1.661	8.46	72.3

Như vậy, sau khoảng thời gian đầu, kéo dài ~ 40 ngày, là thời gian hình thành và thích nghi của màng vi sinh trong thiết bị, FBR cho phép hậu xử lý nước rỉ bãi rác đã qua phân hủy kỵ khí với một tải trọng hữu cơ cao hơn 2-3 lần so với kỹ thuật bùn hoạt tính với thời gian lưu tương đối thấp.

Khi kết hợp cả hai quá trình UASB và FBR có thể đạt hiệu quả khử COD tổng cộng của nước rỉ bãi rác non cao đến 99,8%.

#### 4. Kết luận

- Các thiết bị kỵ khí cao tải UASB, UFAF và FBABR đều có thể đạt hiệu quả phân hủy hữu cơ rất cao: 94 –96% khi xử lý nước rỉ rác non với tải trọng thể tích lên tới 30 – 35g COD/l.ngày.
- Hiệu quả phân hủy hữu cơ của các thiết bị UASB và FBABR cao hơn đáng kể so với thiết bị UFAF.
- Bù lại, thời gian hình thành và thích nghi của bùn trong thiết bị UFAF ngắn hơn đáng kể so với UASB và FBABR.
- Có thể sử dụng WAP và GAC để cố định sinh khối kỵ khí từ bùn kỵ khí loãng, đạt hiệu quả phân hủy hữu cơ ~ 60 - 70 % trong vòng 2 tháng.
- Kỹ thuật FBR có thể áp dụng cho khâu hậu xử lý với VOL 1.5 kg COD/m<sup>3</sup>.ngày và HRT ~ 14 h, để đạt được hiệu quả loại COD > 90%.

## LEACHATE TREATMENT BY HIGHRATE ANAEROBIC REACTORS OF UASB, FBABR AND UFAF COMBINED WITH FBR

Tran Minh Chi, Tran Hieu Nhue, Lam Minh Triet

**ABSTRACT:** Experiments carried out with young leachate in the highrate anaerobic bioreactors of UASB, FBABR and UFAF types showed that the immobilization of anaerobic biomass had taken place within a period of 70 - 90 days, forming rather dense sludge. During the period of 190 - 200 days, morphology of the granular sludge varied depending on a number of factors such as leachate content, toxicities, but could reach an activity higher than 5g COD/g VSS.day, allowing a volumetric organic loading as high as 30 - 32 g COD/l.day with an organic removal efficiency at 90 - 94 % for the UASB and FBABR reactors, at 96 % for the UFAF reactors. While the volumetric organic loading applied for the UASB and FBABR reactors are higher as compared to the UFAF reactor, the start-up process of the last appeared to be shorter considerably.

Anaerobic biomass could be immobilized more rapidly, within 2 months, with an organic removal efficiency of > 75 % when a polyacrylamid based WAP and granular activated carbon Norit PK1,3 applied.

Post treatment using FBR technique could reach an organic removal efficiency for the left organic compounds reached > 90 %. The total COD removal efficiency of the combined anaerobic - aerobic processes was 99% and even higher.

Key words: anaerobic bioreactors, UASB, FBABR, UFAF, immobilization, organic loading, activity, organic removal efficiency.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Alphenaar A (1994) Anaerobic granular sludge. *PhD. thesis. Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands*
- [2] American Public Health Association (1985) Standard methods for examination of water and wastewater, 16th ed. American Public Health Association. Washington, D.C., USA
- [3] Hulshoff Pol LW (1989) The phenomenon of granulation of anaerobic sludge. *PhD. thesis. Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands*
- [4] Lettinga G, Hobma SW, Hulshoff Pol LW, de Zeeuw WJ, de Jong P, Grin P, Roersma R (1983) Design, operation and economy of anaerobic treatment. *Wat. Sci. Technol. 15: 177-196*
- [5] Malina JF, Pohland FG (1992) Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes. *Technomic, Pennsylvania, US.*
- [6] Nguyễn Trung Việt và ctv (1997) Báo cáo khoa học "Quản lý chất thải rắn sinh hoạt thành phố Hồ Chí Minh", *Sở KHCNMT TP HCM*
- [7] Parkin GF, Speece RE, Yang CH, Kocher WM (1983) Response of methane fermentation systems to industrial toxicants. *JWPCF 55: 44- 88*
- [8] Speece RE (1983) Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater Treatment. *Environ. Sci. Technol., Vol. 17, No. 9, 1983*
- [9] Speece RE (1996) Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater Treatment. *Archae Press, Nashville, US.*
- [10] Trần Minh Chí, Lê Quang Hân, Nguyễn Tất Thắng (2000a). Nghiên cứu áp dụng công nghệ xử lý nước thải sản xuất Nitroglycerine bằng phương pháp sinh học kỵ khí UASB, *Hội thảo KHCNMT khu vực phía Nam, TP Hồ Chí Minh 2000*

- [11] Trần Minh Chí, J.Weijma (2000b). Cạnh tranh giữa AB, MB và SRB với cơ chất metanol trong điều kiện nhiệt độ thường I. Khảo sát trong thiết bị kỵ khí cao tải, *Hội thảo KHCNMT khu vực phía Nam, TP Hồ Chí Minh 2000*
- [12] Trần Minh Chí, J.Weijma (2000c). Cạnh tranh giữa AB, MB và SRB với cơ chất Metanol trong điều kiện nhiệt độ thường II. Con đường chuyển hóa metanol thành Metan và Sulfur và các tham số động học, *Hội thảo KHCNMT khu vực phía Nam, TP Hồ Chí Minh 2000*
- [13] Trần Minh Chí và CTV (2001) Báo cáo đề tài “ Nghiên cứu công nghệ kết hợp để xử lý nước rỉ bãi rác”. *Sở KHCNMT TP HCM*