

# 石油暨石化產業科技學術合作

## 八十八年度產業科技完成報告

以 CSTR 活性污泥法處理煉油

廢水中的有機環狀物 BTXN

計畫編號:88-CPC-E-029-002

執行期間: 88 年 4 月 1 日至 88 年 12 月 31 日

委託單位:中國石油股份有限公司

計畫主持人:張有義

共同主持人:

執行單位:東海大學 化工系

中華民國 88 年 12 月 31 日

## 摘 要

本論文是在探討在連續式反應系統下，以馴化活性污泥分解萘之研究，並找出馴養污泥之最小滯留時間。並研究其它環狀有機物—苯、甲苯和對二甲苯對萘之生物分解的共代謝作用與抑制效應，再進一步找出此馴養污泥之生物反應動力參數。由實驗結果得知苯和甲苯均有助於萘之生物分解，但對二甲苯則會抑制萘之生物分解。

## ABSTRACT

Microbial degradation of Naphthalene by the enrichment activated sludge of CSTR is investigated in the thesis. The mean cell residence time is determined . The cometabolism and inhibition effects of BTX on the biodegradation of Naphthalene is also studied in this thesis. It is found that both Benzene and Toluene can benefit the degradation of Naphthalene , but p-Xylene will inhibit the degradation of the Naphthalene.

# 目 錄

誌謝-----	I
中文摘要-----	II
英文摘要-----	III
目錄-----	IV
表目錄-----	VIII
圖目錄-----	IX
第一章 前言-----	1
第二章 文獻回顧-----	2
2-1 活性污泥法之發展經過-----	2
2-2 廢水中有機物的去除-----	3
2-2-1 微生物分解苯、甲苯、對二甲苯和萘之代謝 機構-----	6
2-2-2 單一基質—苯、甲苯、對二甲苯和萘之生物 分解-----	11
2-2-3 多種基質效應下，苯、甲苯、對二甲苯和萘 與微生物之間的競爭行為-----	13
2-2-4 文獻中有關苯、甲苯、對二甲苯和萘之操作 條件與反應時間-----	14
2-3 毒性物質對微生物之抑制行為-----	16
2-4 活性污泥之一般特性-----	20

2-5 活性污泥法處理系統-----	20
2-5-1 活性污泥法-----	20
2-5-2 連續式活性污泥法之原理-----	21
2-5-3 生物處理動力模式-----	22
第三章 實驗設備與方法-----	31
3-1 實驗目的-----	31
3-2 實驗設備-----	31
3-2-1 CSTR 實驗設備-----	31
3-2-2 實驗分析設備-----	32
3-3 實驗方法-----	33
3-3-1 廢水來源-----	33
3-3-2 污泥馴養方式-----	34
3-4 實驗進行方式-----	35
3-4-1 以CSTR之操作系統，改變流速，作生物分解 實驗-----	35
3-4-2 CSTR之操作系統，以同一流速，作生物分解 實驗-----	36
3-4-3 苯、甲苯、對二甲苯和萘之各種實驗濃度組 成-----	37
3-4-4 吸附量之實驗-----	38
3-4-5 揮發量之實驗-----	39
3-4-6 溶氧呼吸儀之實驗-----	39
3-5 實驗分析方法-----	39
3-5-1 污泥溶氧的測定-----	39
3-5-2 污泥濃度之測定-----	40

3-5-3 SVI 之測定-----	40
3-5-4 COD之測定-----	40
3-5-5 氣相層析儀之分析測定-----	42
第四章 結果與討論-----	46
4-1 活性污泥中之微生物生態-----	46
4-2 連續式活性污泥法處理的結果-----	48
4-2-1 在不同流速下，活性污泥在CSTR處理含萘 (15 mg/L) 有機廢水過程中之變化情形-	48
4-3 在不同的基質起始濃度下，改變流速，找出馴養 污泥之最小停留時間-----	57
4-4 在萃取時，活性污泥對基質之反應-----	59
4-5 活性污泥對基質萘之吸附量和揮發量-----	59
4-6 CSTR 操作系統中，進行圖4-2-2時，pH與D.O. 之線上監控情形-----	61
4-7 污泥濃度的變化情形-----	62
4-8 活性污泥生物分解反應中，基質—苯、甲苯和對 二甲苯對於馴養污泥分解萘之影響-----	63
4-8-1 在相同流速下之微生物分解實驗結果----	63
4-8-2 CSTR與SBR之萘之分解速率之實驗結果比較-	68
4-9 將4-8節所述之複合基質，改變流速，找出微生 物分解之動力參數-----	70
第五章 結論與建議-----	93
5-1 結論-----	93

5-2 建議	94
第六章 參考文獻	96
附 錄	101

## 表 目 錄

表2-1 Pseudomonas sp. Strain CFS-215、Arthrobacter sp. Strain HCB 和混合菌種對苯、甲苯、對二甲苯之反 應結果-----	12
表2-2 苯、甲苯、對二甲苯和萘之96-hr LC <sub>50</sub> 值-----	17
表3-1 人工合成廢液組成成份-----	33
表3-2 馴養污泥之生物分解實驗之其它各種基質濃度組 合-----	37
表3-3 馴養污泥對苯、甲苯、對二甲苯和萘之生物分解實 驗之各種濃度組成-----	38
表3-4 COD分析方法所採用之分析藥品的等級與廠牌-	42
表3-5 氣相層析儀之操作條件-----	42
表3-6 積分器之設定條件-----	43
表3-7 以Dimethyl Chloride萃取苯、甲苯、對二甲苯和萘 的萃取率-----	44
表4-5-1 活性污泥對基質—萘之吸附量-----	59
表4-8-1 萘之生物分解時間-----	63
表4-8-2 萘之生物分解時間-----	65
表4-8-3 活性污泥對基質BTX之吸附量值-----	67
表4-8-4 CSTR與SBR之萘之分解速率之實驗結果比較-	69
表4-9-1 馴養污泥處理不同BTXN組成的生物反應動力學 參數-----	90



## 圖 目 錄

圖 2-1 BOD 去除機能示意圖-----	4
圖 2-2 氧化萘 ( 1,2-naphthalene oxide ) -----	7
圖 2-3 萘之代謝產物 ( 圖中括號表示產生之百分率 ) ---	7
圖 2-4 Pseudomonas sp. Strain JS150 菌對苯、甲苯和萘的 生物分解反應機構-----	9
圖 2-5 Pseudomonas sp. Strain JS150, Pseudomonas mendocina KRI...等菌混合後對甲苯的生物分解反 應機構-----	10
圖 2-6 基質沒有抑制行為下，微生物生長速率對濃度之關 係-----	19
圖 2-7 基質有抑制行為下，微生物生長速率對濃度之關 係-----	19
圖 2-8 異營菌新陳代謝過程-----	21
圖 2-9 具微生物迴流之活性污泥生物反應槽-----	22
圖 2-10 作圖求 $q_{\max}$ 和 $K_s$ -----	26
圖 2-11 比生長速率 ( $\frac{1}{\theta_c}$ ) 與比基質去除率 ( $q$ ) 之關係，作 圖求得 $Y$ 和 $K_d$ -----	27
圖 2-12 低基質濃度時，作圖求 $q_{\max}$ 和 $K_s$ -----	29
圖 2-13 高基質濃度時，作圖求得 $q_{\max}$ 和 $K_i$ -----	29
圖 3-1 CSTR 反應裝置圖-----	32
圖 4-1-1 SEM ( 電子顯微鏡 ) 所照之活性污泥混合菌種之情	

形-----	46
圖4-1-2 光學顯微鏡所照之活性污泥混合菌種之情形--	47
圖4-2-1 在不同流速下，馴養污泥處理含茶（15 mg/L）之有機廢水之MLSS變化情形-----	48
圖4-2-2 在不同流速下，馴養污泥處理含茶（15 mg/L）之有機廢水之情形COD變化-----	50
圖4-2-3 以活性污泥分解含茶（15 mg/L）之有機廢水中，利用公式2-5-14 作 $\frac{tX}{S_o - S_e}$ vs. $\frac{1}{S_e}$ 圖，所求得活性污泥之 $q_{max}$ 和 $K_s$ 值。-----	51
圖4-2-4 以活性污泥分解含茶（15 mg/L）之有機廢水中，利用公式2-5-9 作 $\frac{1}{\theta_c}$ vs. $q$ 圖，所求得活性污泥之 $Y$ 和 $K_d$ 值。-----	52
圖4-2-5 在不同流速下，馴養污泥處理未含BTXN等有機物之廢水之COD變化情形-----	53
圖4-2-6 在不同流速下，馴養污泥處理未含BTXN等有機物有機廢水之MLSS變化情形-----	54
圖4-2-7 以活性污泥分解未含BTXN等有機廢水中，利用公式2-5-14 作 $\frac{tX}{S_o - S_e}$ vs. $\frac{1}{S_e}$ 圖，所求得活性污泥之 $q_{max}$ 和 $K_s$ 值。-----	55
圖4-2-8 以活性污泥分解未含BTXN等有機廢水中，利用公式2-5-9 作 $\frac{1}{\theta_c}$ vs. $q$ 圖，所求得活性污泥之 $Y$ 和 $K_d$ 值。-----	56

圖4-3-1	由Se vs. $\theta_c$ 變化關係圖，所求得之馴養污泥之最小停留時間， $\theta_c^M=1.47$ day-----	57
圖4-3-2	馴養污泥處理含萘（15 mg/L）之有機廢水之不同F/M與SVI 之關係-----	58
圖4-5-1	在曝氣槽中，不同起始濃度（10 mg/L和15 mg/L）時萘之揮發量-----	60
圖4-6-1	CSTR操作系統中，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）之有機廢水時，pH 與 D.O.之線上監控情形--	61
圖4-7-1	CSTR操作系統中，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）之有機廢水時，MLSS、MLVSS與時間變化之關係之關係-----	62
圖4-8-1	馴養污泥對複合基質—萘（15 mg/L）、萘（15 mg/L）+苯（100 mg/L）、萘（15 mg/L）+甲苯（100 mg/L）、萘（15 mg/L）+對二甲苯（100 mg/L）中萘之生物分解結果（ $C/C_0$ =萘的濃度殘餘率）-----	64
圖4-8-2	馴養污泥對複合基質—萘（15 mg/L）、萘（15 mg/L）+苯（100 mg/L）、萘（15 mg/L）+苯（100 mg/L）+甲苯（100 mg/L）、萘（15 mg/L）+苯（100 mg/L）+甲苯（100 mg/L）+對二甲苯中之萘之生物分解結果（ $C/C_0$ =萘的濃度殘餘率）-----	66
圖4-8-3	曝氣槽中，苯(100 mg/L)、甲苯(100 mg/L)、對二甲苯(100 mg/L)之揮發量-----	68
圖4-9-1	不同流速下，馴樣污泥分解含萘（15 mg/L）和苯（100 mg/L）之有機廢水時之COD去除變化情形-----	70

- 圖4-9-2 不同流速下，活性污泥分解含萘（15 mg/L）和苯（100 mg/L）之有機廢水過程中MLSS之變化情形----- 71
- 圖4-9-3 以活性污泥分解含萘（15 mg/L）及苯（100 mg/L）之有機廢水中，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所求得活性污泥之  $q_{\max}$  和  $K_s$  值。----- 72
- 圖4-9-4 以馴養污泥分解含萘（15 mg/L）及苯（100 mg/L）之有機廢水中，利用公式2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求得活性污泥之  $Y$  和  $K_d$  值。----- 73
- 圖4-9-5 不同流速下，馴養污泥分解含萘（15 mg/L）和甲苯（100 mg/L）有機廢水過程中之COD去除變化情形----- 74
- 圖4-9-6 不同流速下，馴養污泥分解含萘（15 mg/L）和甲苯（100 mg/L）有機廢水過程中之MLSS變化情形----- 75
- 圖4-9-7 以活性污泥分解含萘（15 mg/L）及甲苯（100 mg/L）之有機廢水中，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所求得活性污泥之  $q_{\max}$  和  $K_s$  值。----- 76
- 圖4-9-8 以活性污泥分解含萘（15 mg/L）及甲苯（100 mg/L）之有機廢水中，利用公式2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求得活性污泥之  $Y$  和  $K_d$  值。----- 77
- 圖4-9-9 不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）和對

- 二甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之COD去除變化情形----- 78
- 圖4-9-10 不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之MLSS變化情形----- 79
- 圖4-9-11 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 有機廢水，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所求得活性污泥之  $q_{max}$  和  $K_s$  值。--- 80
- 圖4-9-12 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L) 及對二甲苯 (100 mg/L) 之有機廢水，利用公式2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求得活性污泥之  $Y$  和  $K_d$  值。----- 81
- 圖4-9-13 不同流速下，馴養污泥分解含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之COD去除變化情形----- 82
- 圖4-9-14 不同流速下，馴養污泥分解含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之MLSS變化情形----- 83
- 圖4-9-15 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 有機廢水有機廢水中，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所求得活性污泥之  $q_{max}$  和  $K_s$  值。----- 84
- 圖4-9-16 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L)

和甲苯 (100 mg/L) 有機廢水有機廢水中，利用  
公式2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求得活性污泥之

$Y$  和  $K_d$  值。----- 85

圖4-9-17 不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L)、苯  
(100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100  
mg/L) 有機廢水過程中之COD去除變化情形-86

圖4-9-18 不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L)、苯  
(100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100  
mg/L) 有機廢水過程中之MLSS變化情形--- 87

圖4-9-19 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L)、  
甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 有機  
廢水，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所

求得活性污泥之  $q_{max}$  和  $K_s$  值。----- 88

圖4-9-20 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L)、  
甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 有機  
廢水中，利用公式2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求

得活性污泥之  $Y$  和  $K_d$  值。----- 89

# 第一章 前言

近年來，人類生活環境的品質日益惡化，許多有毒性或危害性的有機污染物在廢水中的存在及傳輸，已對人類的健康和安全造成極大的威脅。而由於苯（Benzene, B）、甲苯（Toluene, T）、對二甲苯（p-Xylene, X）和萘（Naphthalene, N）在自然界中不易被分解，且為環保部門所公佈之致癌物質，因此如何解決廢水中此種有機污染物，為當前污染防治之重要課題。

以活性污泥法處理工業廢水，並採用完全混合式曝氣槽之主要優點是：一但廢水進入完全混合式曝氣槽內，廢水將很快與曝氣槽內的活性污泥完全混合，可使槽內之有機負荷均勻分佈，對廢水中的毒性物質具有稀釋作用，處理效果將更為穩定。

本研究是採用完全混合式活性污泥法與將反應槽與沉降槽結合成一個槽之方式，以控制反應槽之操作條件及馴化之污泥，探討以生物處理萘之廢水之處理效率及分解性的研究。

## 第二章 文獻回顧

### 2-1 活性污泥法之發展經過

活性污泥法被廣泛應用於都市污水即有機性工業水之處理，而成為現在廢水處理的主流。

本法為Clark於1912<sup>(8)</sup>年在美國波士頓的Lawrence研究所，將污水置入瓶內後給予曝氣，而發現污泥被淨化的現象。依此一發現，1913年英國曼徹斯特大學的Arden及Lockett等人，乃以模型廠將曝氣後所產生的污泥予以迴流，而證實可以更加迅速淨化污水，並將其實驗結果於1914年在英國的化學工程學會發表，是為活性污泥法處理有機廢水的創始<sup>(9)</sup>。

世界上最早的活性污泥法處理廠於1917年同時完成於美國休士頓<sup>(10)</sup>（處理量37,800 m<sup>3</sup>/d）及英國的曼徹斯特<sup>(11)</sup>（處理量946 m<sup>3</sup>/d），而在1930年左右由於活性污泥法之淨化及微生物的作用漸被認識，另外Mohlmann<sup>(12)</sup>提出推估微生物所需氧量的計算法。其後1942年Gould<sup>(13)</sup>提出階梯式活性污泥法，1944年setter<sup>(14)</sup>提出修正法。1945年Krauss為抑制膨化問題而發表Krauss Process<sup>(15)</sup>。1951年Ulrich<sup>(16)</sup>提出接觸穩定法（Contact Stabilization）等等。而後相繼開發的有高率活性污泥法（High-rate Aeration）、長時間曝氣法



(Extend Aeration)、氧化渠法 (Oxidation Ditch)、厭氧活性污泥法、厭氧好氧活性污泥法等等，以致現在仍有新的活性污泥法被研究開發中<sup>(2,3,33,37)</sup>。

台灣地區最早的活性污泥法污水處理設施是建於1965年之中興新村內轆污水處理廠及1971年之台北市民生污水處理廠，前者為氧化渠法，後者為高率曝氣法。發展至今台灣地區已有數百個活性污泥法處理廠，多為處理民生和工業廢水為主<sup>(2)</sup>。

本研究採用標準活性污泥法，但將曝氣槽作適當的區隔，使曝氣槽與沉降槽以一個相連接的壁並列，曝氣槽內之液體與污泥為完全混合狀態，槽內之BOD負荷控制在穩定狀態。

## 2-2 廢水中有機物的去除

活性污泥去除有機物在形式上有三個步驟：傳輸、轉換和膠凝。

1. 傳輸：當有機物與微生物接觸時即產生傳輸作用，在此步驟中廢水有機物係藉吸附與吸收兩個作用，同時傳輸到微生物體內。如圖2-1所示

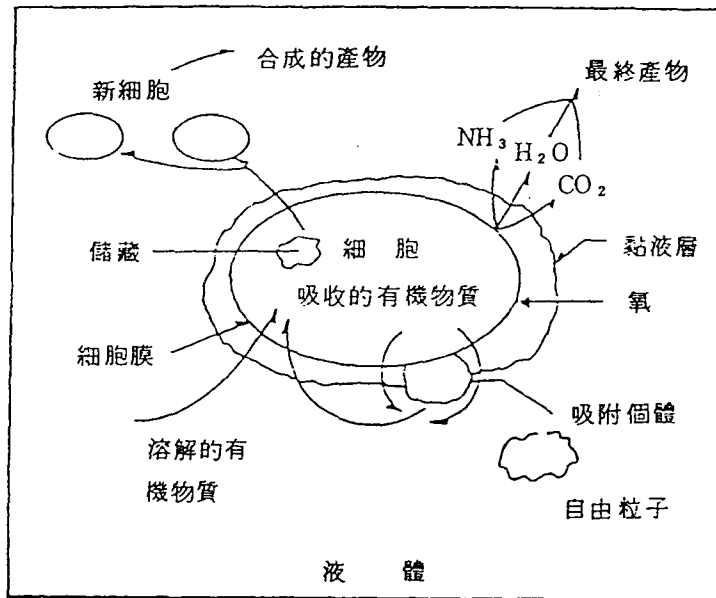


圖2-1 BOD去除機能示意圖

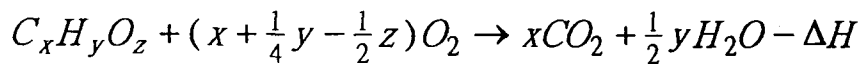
圖2-1 說明溶解狀有機物通過細胞膜直接進入細胞而被吸收。顆粒與膠體狀有機物則吸附於細胞膜表面，經水解後才能通過細胞膜而被細胞所吸收。

2. 轉換：進入微生物體內之有機物變為細胞質之過程是為轉換作用。
3. 膠凝：膠凝發生於微生物已吃飽，且其活性已降低時，需要穩定的水體狀態，以達到沉降分離的目的。

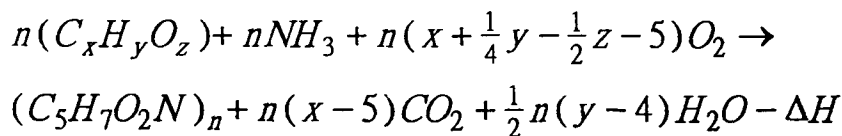
上述三個步驟在生物處理程序中係同時進行著。故此反應須控制在適當的情況下，以使廢水中有機物的傳輸、轉換等過程在活性污泥曝氣槽內進行並完成反應<sup>(2)</sup>。

活性污泥之去除有機物之同時，污泥質量的增值及污泥的自行氧化反應，一般可以下式表之：

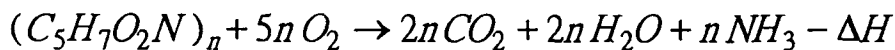
### 1. 有機物的氧化



### 2. 細胞質的合成



### 3. 細胞質的氧化



式中： $C_xH_yO_z$ .....廢水中的有機物

$(C_5H_7O_2N)_n$ .....活性污泥微生物之細胞質

$\Delta H$ .....反應熱

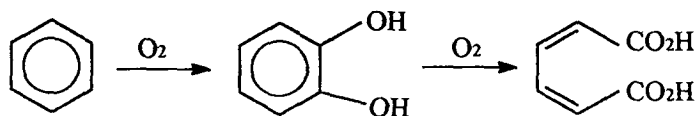
活性污泥之去除有機物，是藉著吸附、氧化及同化之順序進行以達成之<sup>(1,2,33,37)</sup>。

### 2-2-1 微生物分解苯、甲苯、對二甲苯和萘之代謝機構

微生物中有好幾種細菌可以分解含碳數較高之碳氫化合物，而且以其為生長所需之碳原及能源。此種細菌有 *Micrococcus*，*Pseudomonas*，*Mycobacterium* 及 *Nocardia*。碳氫化合物的微生物分解以環境保護的觀點來看，是相當的重要，因為可藉此反應，將殘留在水系及土壤中的石油廢棄物分解掉，本實驗亦是利用此反應分解廢水中之毒性物質：苯、甲苯、對二甲苯和萘。

已知有許多種碳氫化合物可被微生物代謝分解，它包括有  $C_3 \sim C_{32}$  之烷類，烯類 (alkenes) 及芳香族 (aromatic)。芳香族化合物之生物分解，以環境保護的觀點看是相當地重要，這是因為多芳香環之聯苯類可經由此途徑分解掉。

微生物代謝分解芳香族之反應，如不考慮化學安定性 (chemical stability)，芳香族是很容易被微生物所氧化的，此種開環反應之總反應式如下式所示<sup>(17)</sup>：



最易攻擊芳香環的微生物是一種名為 *Cunninghamella elegans* 之真菌，它可在相鄰的碳原子間引入—OH基，而使芳香環裂開。

在微生物分解萘之研究中，化學家相信其分解途徑應是氧分子攻擊萘分子，而產生如下圖（圖2-2）之氧化萘（1,2-naphthalene oxide）之結構，而後再進一步產生其他產物，

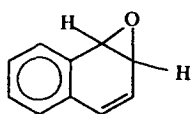
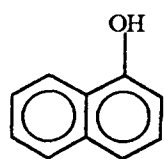
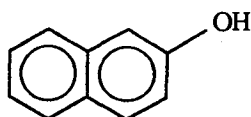


圖2-2 氧化萘（1,2-naphthalene oxide）

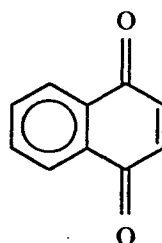
將所得之代謝產物分離出來，可得到圖2-3所示的五項產物（圖中括號表示產生之百分率）<sup>(17)</sup>：



1-naphthol (67.9 %)



2-naphthol (6.3 %)



1,4-naphthoquinone (2.8 %)

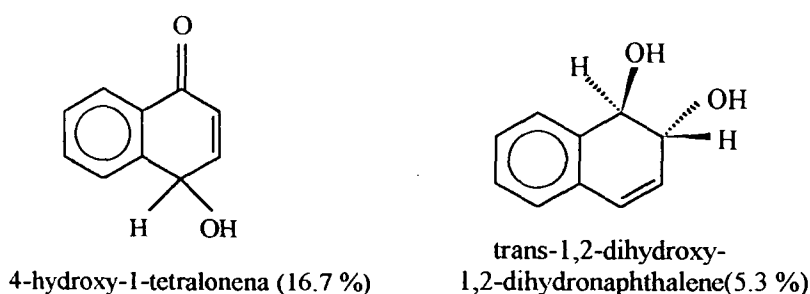


圖2-3 萘之代謝產物（圖中括號表示產生之百分率）

Billy E. Haiger 等人<sup>(18)</sup> 利用 *Pseudomonas* sp. Strain JS150 菌來對苯、甲苯、萘、苯甲酸和氯苯等反應物進行生物分解反應之研究中，找出了好氧菌對於苯、甲苯和萘的生物分解反應機構，如圖2-4所示。

另外有文獻<sup>(19)</sup> 提及甲苯之生物分解途徑有四種（如圖2-5所示），說明如下：

- (1) 利用 *Pseudomonas* sp. Strain JS150 菌來對甲苯進行生物分解，甲苯會被轉換成 Toluene dihydrodiol，CTS-2,3-dihydrotoluene 和 3-methyl catechol 後，再將環打斷破壞。
- (2) 利用 *Pseudomonas paucimobilis* 菌來對甲苯進行生物分解，甲苯會被轉換成，benzyl alcohol，benzaldehyde，benzoate 和 catechol，然後再以鄰位間位的方式將環打斷破壞。

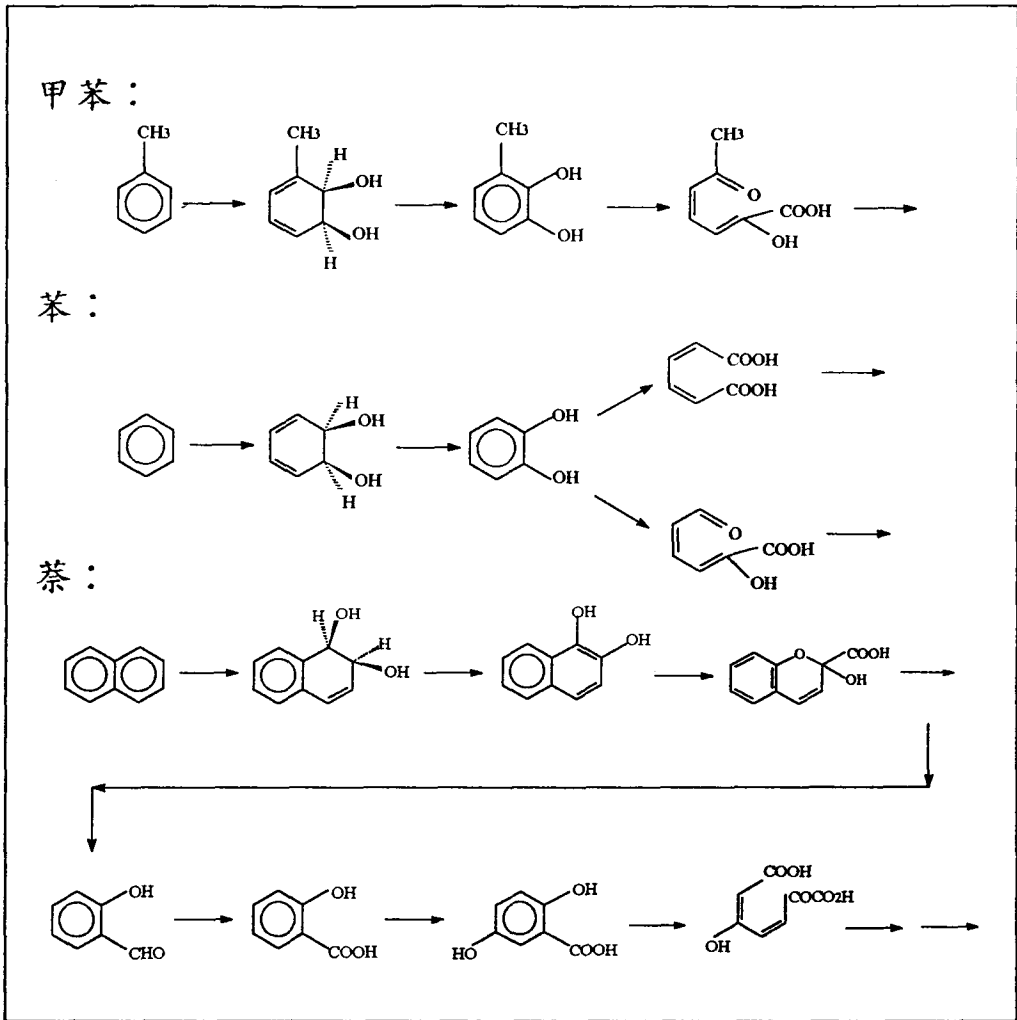


圖2-4 *Pseudomonas* sp. Strain JS150 菌對苯、甲苯和萘的生物分解反應機構<sup>(18)</sup>

(3)利用 *Pseudomonas mendocina* KRI 菌來對甲苯進行生物分解，並利用 toluene-4-monooxygenase enzyme 將甲苯轉換成 p-cresol 再轉換成 p-hydroxy-benzyl

alcohol, p-hydroxybenzaldehyde, p-hydroxybenzoate, protocatechuate,  $\beta$ -carboxy-CTS-muconate 和  $\beta$ -keto-adipate, 然後再將環打斷破壞。

(4) 利用 *Pseudomonas cepacia* G4 菌來對甲苯進行生物分解, 係將甲苯轉換成 o-cresol, 3-methyl-catechol 和 2-hydroxy-6-oxohepta-2,4-dienoic, 然後再將環打斷破壞。

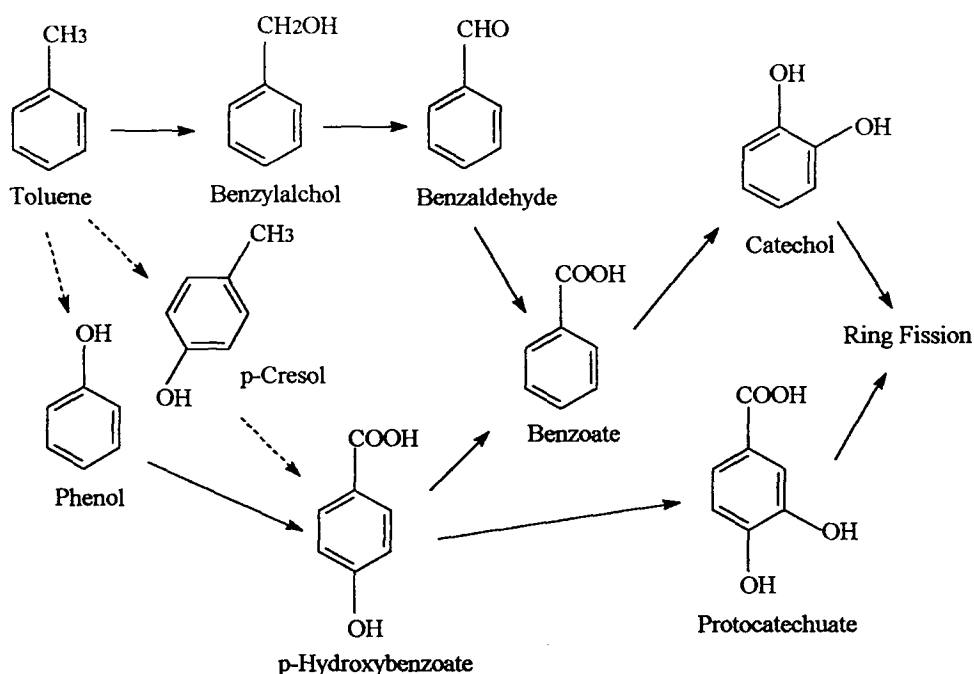


圖2-5 *Pseudomonas* sp. Strain JS150, *Pseudomonas mendocina* KRI...等菌混合後對甲苯的生物分解反應機構<sup>(19)</sup>



對二甲苯的生物分解代謝途徑則有二種：

- (1) 利用 *Pseudomonas* sp. Strain JS150 來進行對二甲苯之生物分解，係將對二甲苯轉換成 p-methyl-benzyl alcohol，p-tolualdehyde，p-toluate 和 4-methyle-catechol，然後再將環打斷破壞<sup>(18)</sup>。
- (2) 利用二種 *Pseudomonas* Strain 菌種來分解對二甲苯，係將對二甲苯轉換成 p-xylene dihydrodiol 和 3,5-dimethyl-pyrocatechol，然後再將環打斷破壞<sup>(20)</sup>。

是故在微生物分解環狀有機物的反應中，芳香族的環被打斷，破壞的途徑有許多種，但生物分解反應的最終產物則均為二氧化碳和水。

#### 2-2-2 單一基質—苯、甲苯、對二甲苯和萘之生物分解

(1) 使用單一菌種來分解苯、甲苯、對二甲苯：

Myung-Keun Chang 等人<sup>(21)</sup>，利用不同的培養方法培養出兩種 *Pseudomonas* 菌—*Pseudomonas fragi* Strain B1 及 *Pseudomonas fluores* Strain X1 來對低濃度的苯、甲苯、對二甲苯（濃度各為 1.2 mg/L）進行生物分解。其中 *Pseudomonas fragi* Strain B1 只會對苯和甲苯進行生物分解而不會分解對二甲苯，而 *Pseudomonas fluores* Strain X1 則只會分解甲苯和對二甲苯而不會分解苯。實驗結果為：在 *Pseudomonas fragi* Strain B1 作用下苯之分解速率為 2.13 mg/L-day，甲苯為 4.05 mg/L-day，對二甲苯為 0 mg/L-day，在 *Pseudo-*

monas fluores Strain X1作用下苯之分解速率為 0 mg/L-day，甲苯為 4.26 mg/L-day，對二甲苯為 10.72 mg/L-day，

(2) 使用混合菌種來分解苯、甲苯、對二甲苯：

Perdro J.J. Alvarez 等人<sup>(22)</sup>則使用Pseudomonas sp. Strain CFS-215、Arthrobacter sp. Strain HCB 和混合菌種（來源為土壤中的泥漿污泥）來對低濃度的苯、甲苯、對二甲苯分別進行生物分解，探討微生物對於苯、甲苯、對二甲苯之適應情形，以瞭解它們的生物反應。實驗結果如表2-1所示：

表2-1 Pseudomonas sp. Strain CFS-215、Arthrobacter sp. Strain HCB 和混合菌種對苯、甲苯、對二甲苯之反應結果<sup>(22)</sup>

菌種名稱	反應物	分解速率 (mg/L-day)	適應期 (day)
Pseudomonas sp. Strain CFS-215	Benzene	7	6
	Toluene	48	1
	Xylene	ND	ND
Arthrobacter sp. Strain HCB	Benzene	52	2
	Toluene	ND	ND
	Xylene	ND	ND

混合菌種	Benzene	25	2
	Toluene	23	2
	Xylene	5	22

ND, not determined

而在萘的生物分解方面，F. Volkering等人<sup>(23)</sup>，則是利用混合菌種的方式來探討其對於低濃度（1.0 mg/L）萘的生物分解能力；並且利用生物動力式進而得到該混合菌種的生長速率為 0.3 mg/L-hr。

由以上的結果可發現，利用混合菌種來對於苯、甲苯、對二甲苯和萘進行生物分解的成效，遠比使用單一菌種的效果來的好；基於以上的結論和考慮混合菌種較易取得，因此本研究將決定採用混合菌種進行實驗。

### 2-2-3 多種基質效應下，苯、甲苯、對二甲苯和萘與微生物之間的競爭行為

#### (1) 在單一菌種方面：

微生物對於苯、甲苯、對二甲苯和萘等混合的環狀有機物之生物分解反應會隨著菌種的不同而有不同的競爭行為。如 Myung-Keun Chung 等人<sup>(21)</sup>利用二種不同的菌種：Pseudomonas fragi Strain B1 及 Pseudomonas fluores Strain X1，進行苯、甲苯、對二甲苯的生物分解，其中Pseudo-

monas fragi Strain B1 會分解苯、甲苯但不分解對二甲苯；而 Pseudomonas fluores Strain X1則會分解甲苯、對二甲苯但不分解苯。由此研究結果得知利用Pseudomonas fragi Strain B1 分解基質之分解速率順序為苯 > 甲苯 > 對二甲苯（不分解）；而利用 Pseudomonas fluores Strain X1 分解基質之分解速率順序為甲苯 > 對二甲苯 > 苯（不分解）。

(2) 在混合菌種方面：

Pedro J.J.Alvares 等人<sup>(22)</sup> 利用混合菌種來進行苯、甲苯、對二甲苯的生物分解，以微生物（來源為土壤中的泥漿）的適應期（Lag Phase）來做比較，他們所得的結果是此混合菌種對苯和甲苯之生物分解速率最快，而分解對二甲苯之速率最慢。

趙聖傑等人<sup>(6)</sup> 也是利用混合菌種（取自受石油污染的土壤，再利用苯、甲苯、乙苯和對二甲苯加以馴養）來進行多重基質分解效應，其實驗結果為此混合菌種分解基質之生物分解速率順序為乙苯 > 甲苯 > 苯 > 對二甲苯。

2-2-4 文獻中有關苯、甲苯、對二甲苯和萘之操作條件與反應時間

(1) I.Wiesel 等人<sup>(24)</sup>，以混合菌種分解萘 200 mg/L，並加入Acetone 為界面活性劑，在 30°C、100 rpm 振盪頻率下，做批次培養，反應時間為2天。

(2) Jane-Young Lee 等人<sup>(25)</sup>，利用單一菌種—*Pseudomonas sputida* 分解苯 1 mg/L、甲苯 1.5 mg/L、對二甲苯 3 mg/L，在曝氣、攪拌式批次反應器中反應，反應時間為30-35小時。

(3) Pedro J.J. Alvarez 等人<sup>(22)</sup>，利用單一菌種及混合菌種分解苯 50 mg/L、甲苯 5,10,15 mg/L、對二甲苯 5,10,15 mg/L，做批次培養，反應時間為苯5天、甲苯114天、對二甲苯14天。

(4) Myung-Keun Chang 等人<sup>(21)</sup>，利用*Pseudomonas*之二種菌在流體式反應器中做單一菌種培養，分解 5,10,15 mg/L 之苯、甲苯、對二甲苯，反應時間為 10-12天。

(5) Erik Aruin 等人<sup>(26)</sup>，利用混合菌種，分解 0.1-0.2 mg/L 之苯、甲苯、對二甲苯，控制一定之溶氧與氮源，在 22°C，pH=7 之下反應，反應時間為 5天。

(6) Mostafa A. Warith 等人<sup>(27)</sup>，以混合菌種（pH=7之土壤菌），分解18.2 mg/L 之苯、甲苯、對二甲苯，做連續式之操作，反應時間為14天。

(7) 廖志鴻等人<sup>(7)</sup>，利用混合菌種分解 60~100 mg/L 之苯、甲苯，在砂管柱形的連續式反應器中操作，反應時間為50天。

(8) 趙聖傑等人<sup>(6)</sup>，利用混合菌種分解 20 mg/L 之苯、甲苯、對二甲苯，添加過氧化氫在150 mg/L下，做批次及連續式操作，反應時間為21天。

以上反應時間的定義為從加入廢水與污泥開始反應至最

終取樣結束、終止反應操作，其去除效果不再增加且至少達65% 為止。

### 2-3 毒性 (toxicity) 物質對微生物之抑制行為

大多數的廢水處理廠對廢水之處理量乃是在最大負荷 (maximum loading capacity) 之下進行處理，因此僅些許的毒性抑制現象存在，對於處理過之放流水品質的不利影響並不顯著。但是在其他操作條件固定不變，而含有大量的毒性化學物質時，則污泥之比生長速率之變化相當大 (約在2-3倍的範圍)。廢水中如含有較高濃度之毒性抑制物質，會破壞微生物細胞，並造成放流水之BOD值偏高，嚴重時會使得全部的污泥失去活性，而無法運作。除了預先利用一些化學沉降反應降低廢水中之所含毒性抑制物質的濃度外，污泥中之微生物在長久接觸毒性物質之環境下，也有可能誘發出抗毒害的能力，甚至可以代謝一些毒性物質而降低其抑制現象 (1,30,31)。

微生物對毒性物質有一定的抵抗力，隨著生物及毒性種類的不同，此種抵抗力也隨之而異，要判斷某一物質之毒性大小，通常以半致死劑量濃度 (lethal concentration 50，簡寫為 LC<sub>50</sub>) 來表示，其定義為該毒性物質的濃度在某一特定時間內可殺死受試驗動物的50%為準。Lloyd<sup>(28)</sup> 發現許多工業廢水常見的毒性物質中有兩三種物質之毒性具有簡單的相加性 (simply additive) 之效果存在。如果每種物質的濃度都超過 LC<sub>50</sub> 的話，那麼經由效應相加預測的聯合毒性

(combined toxicity) 將大於 100%，這種水源顯然是致命性的<sup>(29)</sup>。表2-2列出苯、甲苯、對二甲苯和萘之LC50值<sup>(30)</sup>。

表2-2 苯、甲苯、對二甲苯和萘之96-hr LC50值<sup>(30)</sup>

Organics	鯉魚 (Fathead Minnow) ( mg/L )	水草 (Daphnia) ( mg/L )	鱒魚 (Rainbow Trout) ( mg/L )
Benzene	42.70	35.20	38.70
Toluene	31.00	26.00	27.40
Naphthalene	5.57	5.04	4.44

另外在 'Activated Sludge Process Design and Control' 一書<sup>(31)</sup>中以EC50來定義微生物所能忍受的毒性物質上限濃度，在此濃度下，可殺死受試驗微生物的 50%。文獻中指出：對於 Nitrosomonas 菌，苯的 EC50 為 13 mg/L，甲苯的 EC50 為 84 mg/L，對二甲苯的 EC50 為 100 mg/L，萘的 EC50 為 29 mg/L；對於 Heterotrophs 菌，苯的 EC50 為 520 mg/L，甲苯的 EC50 為 110 mg/L，對二甲苯的 EC50 為 1100 mg/L，萘的 EC50 為 670 mg/L。

Monod 在1942年所提出之微生物生長動力學模式，由於並未考慮到毒性物質對於微生物之抑制行為，所以此方程式只能是用於沒有抑制行為之下的微生物生長情形。(如圖 2-6所示)

但對於有毒性的基質，當其濃度達到一定的程度之後，微生物將受到抑制作用，則微生物的生長會產生許多不同的情形，這其中包括基質的抑制（Substrate Inhibition）和產物的抑制（Product inhibition）二種。

第一種為基質的抑制，在1968年 Andrews<sup>(32)</sup> 根據 Haldane<sup>(30,31,38)</sup> 的在高基質濃度時微生物受到抑制的關係，提出修正方程式，而得一動力學模式為：

$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{1 + \frac{K_s}{S} + \frac{S}{K_i}}$$

其中：

$K_i$  為抑制係數

第二種為產物的抑制，為 S.Aiba 等人<sup>(20)</sup> 在1969年所提出，其動力學模式為

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{(K_i + S)(K_p + P)}$$

其中：

$K_p$  為產物抑制係數

如圖2-7所示，若基質濃度在抑制範圍之下，微生物的生長速率會隨著基質濃度的升高而升高；但當基質到達一定之濃度後，基質會對微生物產生抑制作用，生長速率便會隨著基質濃度升高而下降。



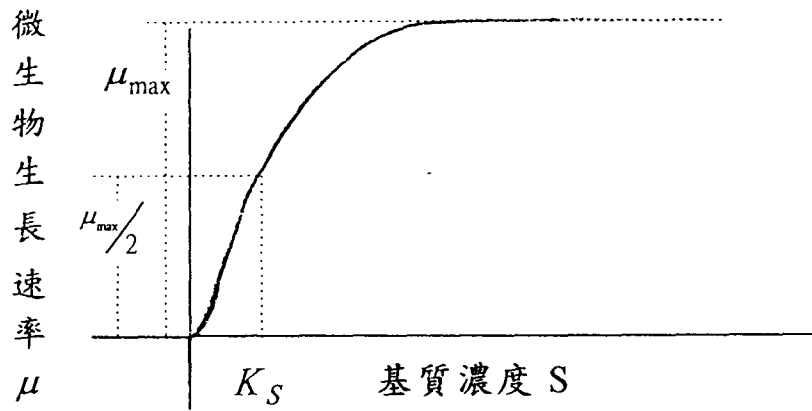


圖2-6 基質沒有抑制行為下，微生物生長速率對濃度之關係  
(30,31,38)

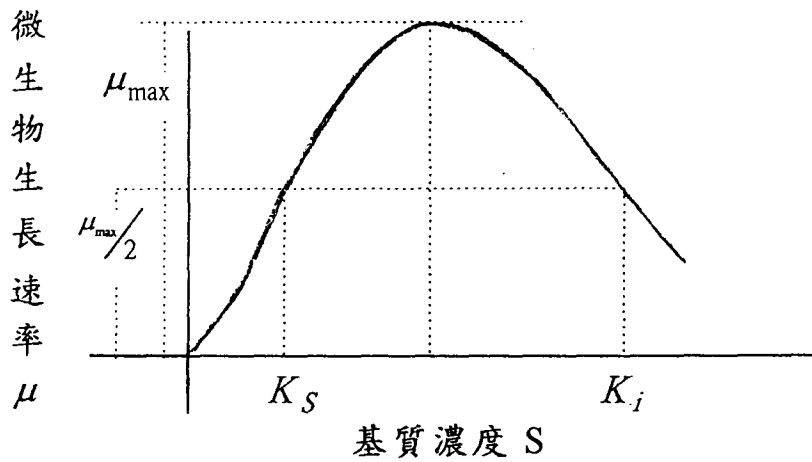


圖2-7 基質有抑制行為下，微生物生長速率對濃度之關係  
(30,31,38)

## 2-4 活性污泥之一般特性

活性污泥之特性隨著來源及用途之不同而有所差異，為了解污泥之生長特性需有一些指標提供判斷，如污泥之容積指標（SVI）、懸浮性固體濃度（MLSS）、COD、BOD、溶氧消耗速率（OUR.）...等等，其中污泥之容積指標在污泥之控制及操作設計上相當地重要，若 SVI 值太大，表示污泥沉降性不佳，若 SVI 值太小，表示污泥太緊密，一般沉降性好的污泥之 SVI 值介於50~120。而比氧氣消耗速率 SOUR（specific oxygen uptake rate, mg O<sub>2</sub>/mg-vss-day）更是作為處理廢水能力很好的指標，它可用來描述微生物之呼吸速率及生長速率，由此便可決定基質對微生物之抑制作用。

Jerry Y.C Huang 和 Meng-Dheng<sup>(35)</sup> 提出在固定揮發性懸浮固體量（MLVSS）下，比氧氣消耗速率與基質濃度之關係可以 Monod 方程式來估計，即

$$SOUR = \frac{OUR}{X} = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S}$$

其中  $\mu_{\max}$  和  $K_s$  則直接反應出污泥之活性。

## 2-5 活性污泥法處理系統

### 2-5-1 活性污泥法

活性污泥法為一種好氧性之生物廢水處理方法，在一定的控制條件下，利用屬於異營菌的微生物攝取廢水中的有機成分，進行氧化分解及酵化作用，以做為細胞新陳代謝所需碳素和能量的來源，其簡單過程如圖2-8所示。

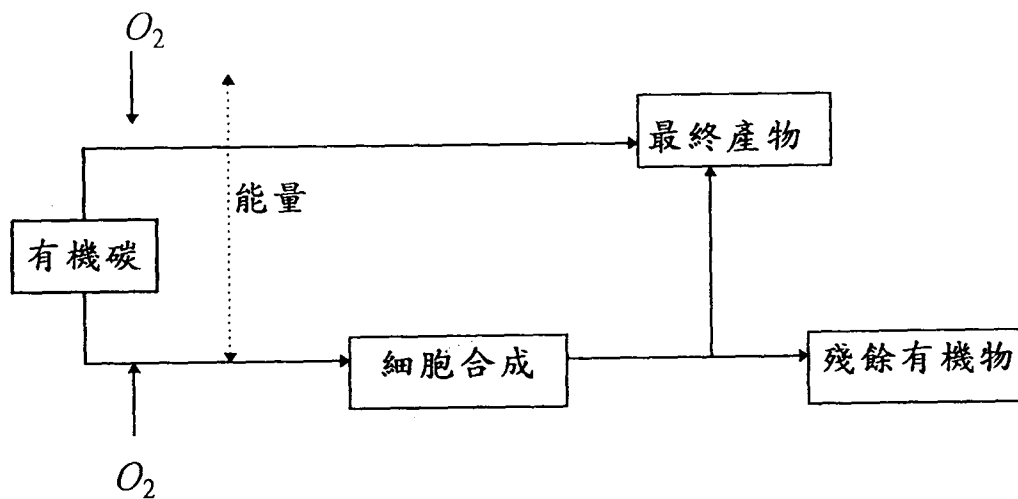


圖2-8 異營菌新陳代謝過程<sup>(2)</sup>

### 2-5-2 連續式活性污泥法之原理

連續式活性污泥法為今日最普遍採用的二級生物處理法之一。活性污泥程序的主要構成是一個連續流動的曝氣生化反應器，緊接著沈降槽，如圖2-9。廢水流入曝氣槽與槽內之好氧微生物群之污泥相接觸進行生化反應，處理後之出流水於沈降槽沉降分離之，沉降後之污泥一部份成為剩餘污泥排出另行處理，另一部分迴流到曝氣槽，以保持連續植種，使

曝氣槽中維持一定之污泥濃度，進而控制有機負荷比，以達到良好之處理效果。

### 2-5-3 生物處理動力模式

在連續式的生化反應槽內，大部份的學者均採用異營性的培養基馴養污泥，並以其中之主要基質來探討生化反應機構，1970年 Lawrance 和 McCarty 在穩定狀態下，建立完全混合式活性污泥法之動力學模式<sup>(33,36,37)</sup>。

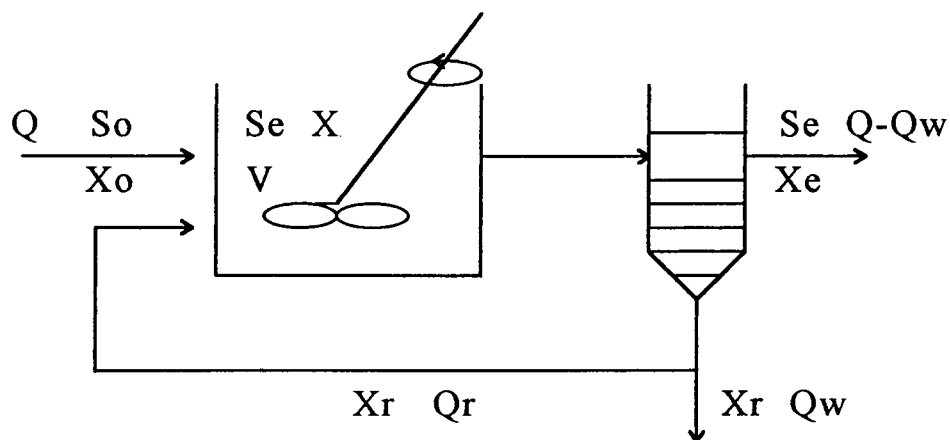


圖2-9 具微生物迴流之活性污泥生物反應槽

連續式活性污泥處理系統(即完全混合式反應槽)，為一連續進流和出流方式之反應槽，槽中維持一定濃度之基質組成。

在連續反應槽中，有兩個形式的停留時間：針對液體及

微生物固體。液體之滯留時間或稱為水力滯留時間 (hydraulic residence time)  $t$ ，以下式表示：

$$t = \frac{V}{Q} \quad (\text{式2-5-1})$$

微生物固體滯留時間即為污泥齡 (sludge age)  $\theta_c$ ，又稱為平均細胞停留時間 (Mean cell residence time)，以下式表示：

$$\theta_c = \frac{XV}{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e} \quad (\text{式2-5-2})$$

= (系統之污泥) / (單位時間內排掉之污泥)

因  $X_e = 0$ ，故

$$\theta_c = \frac{XV}{Q_w X_r} \quad (\text{式2-5-3})$$

本研究以控制水力停留時間 ( $t$ )，污泥之排泥量 ( $X_r$ )，進而控制活性污泥系統之污泥齡。

進流廢水中之有機物會被分解或氧化成  $CO_2$  及  $H_2O$ ，而一些高能量的有機物則用來製造新的微生物，故新細胞之產量即為基質分解後所導致的結果，而基質的使用情形，通常以 Monod 模式來表示：

$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} \quad (\text{式2-5-4})$$

其中

$\mu$  : 微生物比增殖速率,  $\text{time}^{-1}$

$\mu_{\max}$  : 基質達飽和濃度時, 微生物最大的比增殖速率,  $\text{time}^{-1}$

$K_s$  : 飽和常數, 其值為  $\mu = \mu_{\max}/2$  時的基質濃度,  $\text{mg/L}$

污泥槽中基質之去除情形, 通常以基質去除速度 ( $q$ ) 來表示, 由基質之質量平衡可得到

[基質之改變] = [基質之進流] - [基質之出流] - [被使用掉之基質]

$$\frac{dS}{dt} V = QS_o - QS_e - qXV$$

假設為穩定狀態, 則  $dS/dt = 0$

得 
$$q = \frac{S_o - S_e}{X t} \quad (\text{式2-5-5})$$

其中

$q$  : 比基質利用率 (Specific substrate removal rate)

$S_o$  : 初始基質濃度,  $\text{mg/L}$

$S_e$  : 放流基質濃度, mg/L

由於可以假設微生物比增值速率與此基質去除率  $q$  成比例, 即

$$\mu = a q$$

$q$  可用下式表示:

$$q = \frac{q_{\max} S}{K_s + S} \quad (\text{式2-5-6})$$

因此

$$q = \frac{S_o - S_e}{X t} = \frac{q_{\max} S}{K_s + S}$$

得

$$S_o - S_e = \frac{q_{\max} S X t}{K_s + S} \quad (\text{式2-5-7})$$

將式2-5-7取倒數, 即可變為以下形式:

$$\frac{t X}{S_o - S_e} = \frac{K_s}{q_{\max}} \cdot \frac{1}{S_e} + \frac{1}{q_{\max}} \dots \dots \dots (\text{式2-5-8})$$

根據式2-5-8 作  $\frac{t X}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖, 從而求得  $q_{\max}$  和  $K_s$

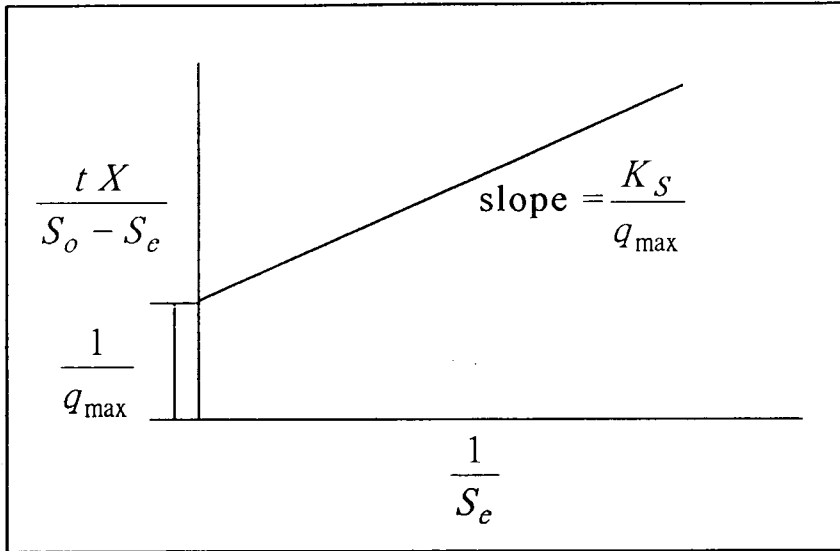


圖2-10 作圖求  $q_{\max}$  和  $K_s$

根據微生物與基質利用的關係，得

$$\frac{1}{\theta_c} = Yq - K_d \quad (\text{式2-5-9})$$

其中

$$Y = \frac{dX}{dS} = (\text{所產生之微生物量}) / (\text{基質去除量}), \text{ 比生長速率}$$

長速率

$K_d$  : 微生物衰減係數

$$\frac{1}{\theta_c} := \mu, \text{ 比生長速率}$$



根據式2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，從而求得  $Y$  和  $K_d$

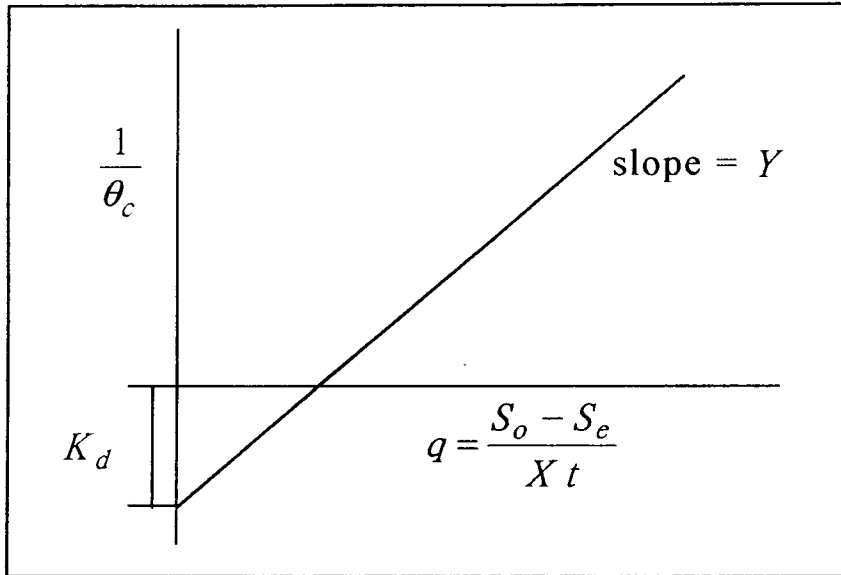


圖2-11 比生長速率 ( $\frac{1}{\theta_c}$ ) 與比基質去除率 ( $q$ ) 之關係，作圖求得  $Y$  和  $K_d$

若有基質抑制，依據Andrews所提之修正方程式：

$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{1 + \frac{K_s}{S} + \frac{S}{K_i}} \quad (\text{式2-5-10})$$

得

$$S_o - S_e = \frac{\mu_{\max} S X t}{Y (1 + \frac{K_s}{S} + \frac{S}{K_i})} \quad (\text{式2-5-11})$$

上式可寫成

$$S_o - S_e = \frac{q_{\max} S X t}{1 + K_s/S + S/K_i} \quad (\text{式2-5-12})$$

將式2-5-12取倒數，即可變為以下形式：

$$\frac{t X}{S_o - S_e} = \frac{1}{q_{\max}} + \frac{K_s}{q_{\max}} \cdot \frac{1}{S_e} + \frac{1}{q_{\max} K_i} \cdot S \quad (\text{式2-5-13})$$

如基質濃度極低，則

$$\frac{t X}{S_o - S_e} = \frac{1}{q_{\max}} + \frac{K_s}{q_{\max}} \cdot \frac{1}{S_e} \quad (\text{式2-5-14})$$

根據式2-5-14作  $\frac{t X}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，從而求得  $q_{\max}$  和  $K_s$ ，

如圖2-5-5所示。

在高基質濃度時，則

$$\frac{t X}{S_o - S_e} = \frac{1}{q_{\max}} + \frac{1}{q_{\max} K_i} \cdot S_e \quad (\text{式2-5-15})$$

根據式2-5-15作  $\frac{t X}{S_o - S_e}$  vs.  $S_e$  圖，從而求得  $q_{\max}$  和  $K_i$ ，如

圖2-5-6所示。

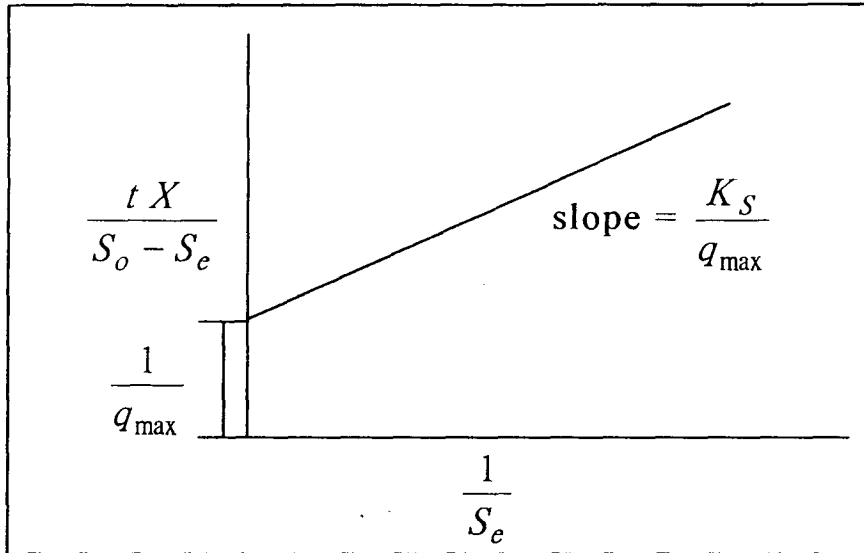


圖2-12 低基質濃度時，作圖求  $q_{\max}$  和  $K_s$

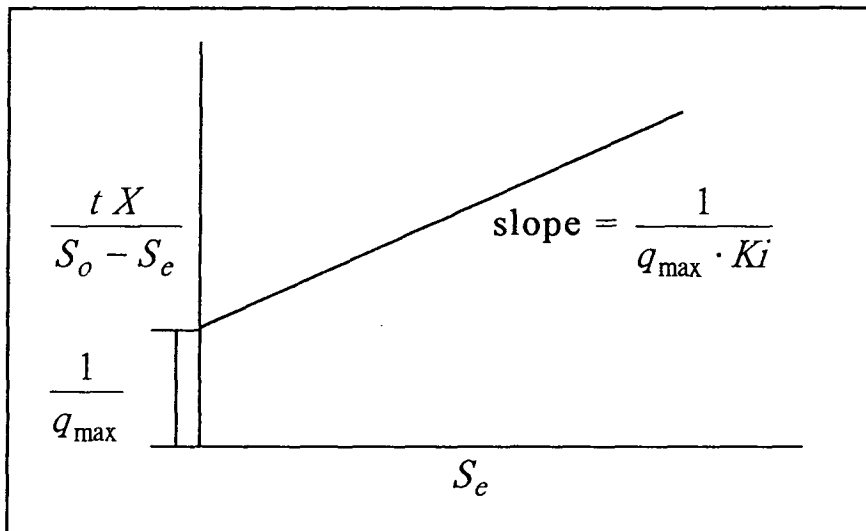


圖2-13 高基質濃度時，作圖求得  $q_{\max}$  和  $K_i$

由以上之方程式，可得知實驗時活性污泥之控制程序為：

1. 控制水力停留時間，污泥濃度，進料濃度，以間接控制有機負荷比 (F/M)。
2. 待系統穩定後，測定  $Q, S_o, S_e, X$  和  $\Delta X$ ，便可求得動力學常數  $q_{\max}, K_s, K_i, Y$  和  $K_d$

## 第三章 實驗設備與方法

### 3-1 實驗目的

由於在本實驗室中已證明出經苯、甲苯、對二甲苯和萘馴化之活性污泥（混合菌種），在 Batch 及 SBR 反應系統下，具有處理上述芳香族有機物的效果，且其分解處理效果遠較未經馴化之活性污泥的分解處理效果為佳<sup>(4,5)</sup>。所以本研究決定探討在 CSTR 系統下以馴養污泥分解上述芳香族有機物之實驗結果與前人所作之實驗結果相互比較，並探討苯、甲苯、對二甲苯對於活性污泥在分解萘時之相互競爭和抑制行為，且找出在 CSTR 系統下馴養污泥分解萘時之沖出點 (wash-out point)，即最小之污泥滯留時間 (sludge residence time, SRT)。

### 3-2 實驗設備

#### 3-2-1 CSTR 實驗設備

實驗設備裝置如圖3-1，包括 3L 之反應槽，pH meter、D.O. meter、蠕動幫浦、空氣曝氣機、氣體流量控制器等。各儀器型號條列如下：

- (1)、pH meter：台灣 JENCO 公司，pH-VISION 6071

- (2)、D.O. meter：美國 YSI 公司，MODEL-50B
- (3)、蠕動幫浦：法國 GILSON 公司
- (4)、空氣曝氣機：台灣活水公司，8000 Air Pump
- (5)、反應槽：壓克力材質製
- (6)、氣體流量控制器：台灣 FONG JEL 公司，FJP-081313-F

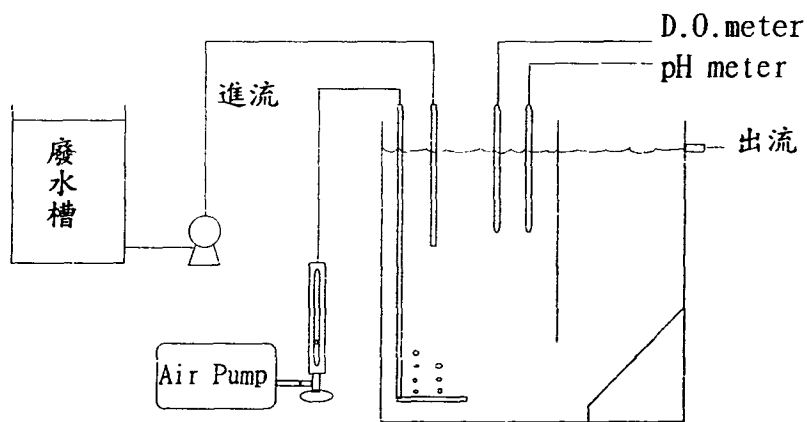


圖3-1 CSTR 反應裝置圖

### 3-2-2 實驗分析設備

- (1).氣相層析儀：日本 Shimadzu 公司，GC-14A
- (2).氣相層析儀積分器：日本 Shimadzu 公司，C-R6A
- (3).化學需氧量 (COD) 測定儀：美國 HACH 公司，DR 2000

- (4).恆溫振盪培養箱：台灣 ORBITAL 公司，OS 1500
- (5).高速離心機：日本 HITACHI 公司，O5P-21
- (6).震盪器：大成公司
- (7).高溫裂解爐：美國 NEY 公司，M-525,SERIES II
- (8).烘箱：台灣 RISEN 公司
- (8).恆溫箱：台灣精機公司

### 3-3 實驗方法

#### 3-3-1 廢水來源

本實驗所使用之廢水是採人工合成廢液，其組成成份如表3-1，每次配置 1.0 升，再配製成不同之有機負荷比的實驗用廢水。

表3-1 人工合成廢液組成成份

基質	濃度 (g/L)	廠牌、等級
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	3.46	日本三德藥品株式會社， 試藥一級
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.36	日本三德藥品株式會社， 試藥一級
NH <sub>4</sub> Cl	2	日本林純藥工業株式會社， 試藥一級

MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.2	日本林純藥工業株式會社， 試藥一級
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.01	日本林純藥工業株式會社， 試藥一級
MnSO <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.003	日本林純藥工業株式會社， 試藥一級
FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.005	日本林純藥工業株式會社， 試藥一級
Na <sub>2</sub> EDTA · 2H <sub>2</sub> O	0.002	日本林純藥工業株式會社， 試藥一級
Glucose	5	日本林純藥工業株式會社， 試藥一級
Benzene	0.025	日本林純藥工業株式會社， 試藥特級
Toluene	0.025	日本林純藥工業株式會社， 試藥特級
p-Xylene	0.025	日本林純藥工業株式會社， 試藥特級
Naphthalene	0.015	日本林純藥工業株式會社， 試藥一級

### 3-3-2 污泥馴養方式

本實驗中的污泥有機負荷比 (F/M) 控制為 0.4，加入



表3-1中之馴養基質馴養污泥，固定污泥槽中之微生物量（MLSS為3000mg/L），則每日需加入馴養基質170 ml，並且每日固定排泥，以維持污泥槽中之微生物量。

其它控制條件如下：

- 1.反應期間維持槽中之溶氧（D.O.）在 2 mg/L 以上，以避免因溶氧的不足而限制活性污泥之生長。
- 2.採用之人工合成廢液具有緩衝溶液的作用，維持其 pH 值在 6.5~7.1 左右，以適合活性污泥之生長。
- 3.採用之人工合成廢液中含有微生物生長所需的 N 及 P。

### 3-4 實驗進行方式

本研究是採用如圖3-1所示的活性污泥槽，其人工合成廢水是以 CSTR 之操作進行活性污泥處理，但在出流處因沉降槽之關係，使出流之污泥量很少，反應槽內之馴養污泥則大部分迴流，因而此反應槽內之污泥量接近批次系統，所以本實驗以排泥量控制此槽內之污泥齡，另外此反應系統於室溫下進行，溫度為 22~26 °C。

本實驗進行之步驟分為六大項：

- 1.不同濃度，改變流速，找出最小之污泥停留時間
- 2.固定流速，比較生物分解之相互抑制性
- 3.改變流速，求出污泥之動力參數
- 4.基質之吸附實驗

5. 基質之揮發實驗

6. 測定活性污泥之溶氧呼吸情形

3-4-1 以CSTR之操作系統，改變流速，作生物分解實驗

不同濃度，改變流速，找出最小之污泥停留時間

1. 配置人工合成廢水。
2. 自活性污泥馴養槽取出適量污泥至反應槽中，加入進料廢水 2 L 後，使其中的MLSS 約為 3000 mg/L，再另外連續加入進料廢水，改變流速變因。
3. 曝氣，氣體流量為 1 L/min。
4. 於室溫下進行反應，另以儀器監控反應槽之 pH、溫度。
5. 每24小時取樣一次，以進行MLSS、COD、OUR、SOUR、SVI 之實驗分析。

3-4-2 CSTR之操作系統，以同一流速，作生物分解實驗

固定流速，比較生物分解之相互抑制性及改變流速，求出污泥之動力參數

1. 配置人工合成廢水 2 L。
2. 自活性污泥馴養槽取出適量污泥至反應槽中，加入進料廢水 2 L 後，使其中的MLSS 約為 3000 mg/L，再另外連續加入進料廢水並控制流率。
3. 曝氣，氣體流量為 1 L/min。

4. 於室溫下進行反應，另以儀器監控反應槽之 pH、溫度。
5. 每半小時取樣一次，以進行以下之實驗分析：
  - 1) 由槽中取出 10 ml sample，離心 10 min，轉速為 3000 rpm，離心後取上層液，分析 COD，下層污泥則置入鋁箔盤內烘乾（103°C，550°C）秤重，以測得 MLSS、MLVSS。
  - 2) 另由溢流口取樣 50 ml 廢水，以 50 ml dichloromethane 萃取，以 GC 分析萃取液中之萘濃度。
  - 3) 由槽中取出污泥，偵測污泥的活性（OUR、SOUR）。

上述之進料廢水水樣中除了包含苯、甲苯、對二甲苯和萘等芳香族有機物外，還包含下表 3-2 之基質：

表 3-2 馴養污泥之生物分解實驗之其它各種基質濃度組合

基質	濃度 (g/L)
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	3.46
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.36
NH <sub>4</sub> Cl	2
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.2
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.01
MnSO <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.003
FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.005
Na <sub>2</sub> EDTA · 2H <sub>2</sub> O	0.002
Glucose	1

### 3-4-3 苯、甲苯、對二甲苯和萘之各種實驗濃度組成

在活性污泥槽中，馴養污泥對苯、甲苯、對二甲苯和萘之生物分解實驗之各種濃度組成如表3-3所示

表3-3 馴養污泥對苯、甲苯、對二甲苯和萘之生物分解實驗之各種濃度組成

反應種類	反應物名稱	濃度 (MG/L)
單一基質1	Naphthalene (Nap.)	15
多重基質1	Nap.+ Ben.	15+100
多重基質2	Nap.+ Tol.	15+100
多重基質3	Nap.+ Xyl.	15+100
多重基質4	Nap.+ Ben.+ Tol.	15+100+100
多重基質5	Nap.+ Ben.+ Tol.+ Xyl.	15+100+100+100

考慮基質之去除實驗時並非全由微生物所分解，而是有一部份基質會因吸附作用及揮發作用而被去除，因此在探討生物分解時需將此因素去除，所以本研究需分析污泥之吸附量及揮發量。

### 3-4-4 吸附量之實驗

取20 ml的污泥水樣於三角錐形瓶中（污泥控制在3000

mg/L左右)，並加入苯（100 mg/L）、甲苯（100 mg/L）、對二甲苯（100 mg/L）和萘（10、15 mg/L）後加以劇烈搖晃及震盪，再以20 ml Dimethyl Chloride萃取10 min後，以GC分析殘餘濃度，則其吸附量為萃取前所配製之濃度減去萃取後的殘餘濃度。其結果則列於結果與討論上。

#### 3-4-5 揮發量之實驗

在反應槽中放入3升之蒸餾水，並各自加入苯（100 mg/L）、甲苯（100 mg/L）、對二甲苯（100 mg/L）和萘（10和15 mg/L）後，以曝氣（1 L/min）攪拌，每半小時取樣10 ml，再以10 ml Dimethyl Chloride萃取10 min後，以GC分析殘餘濃度，則其揮發量為萃取前所配製之濃度減去萃取後的殘餘濃度。其結果列於結果與討論上。

#### 3-4-6 溶氧呼吸儀之實驗

本實驗的目的為探討污泥對萘之生物分解攝氧情形與萘是否會對Glucose行抑制作用。

本實驗是在本校環科所進行，利用污泥攝氧產生的壓力差將氧氣吸入，通過細胞液內，有電壓感測，再由電腦計算氣泡數目，而後轉為所要之單位 mg O<sub>2</sub>。實驗步驟為：

1. 配製不同的基質
2. 控制一定的污泥量
3. 由電腦讀取數據。

### 3-5 實驗分析方法

#### 3-5-1 污泥溶氧的測定

自反應槽取出適量水樣，置於 BOD 瓶內，以磁石攪拌均勻，以 D.O. meter（瓶口為水封狀態）測定瓶內之溶氧濃度（ $\text{mgO}_2/\text{L}$ ）。溶氧測定儀每十秒讀值一次，前後反應 3 分鐘。分析 BOD 瓶內溶氧單位時間的變化量即為攝氧率 OUR（ $\text{mgO}_2/\text{L-hr}$ ），再除以 BOD 瓶中的微生物量（MLVSS），即得比攝氧率 S.OUR（ $\text{mgO}_2/\text{gVSS-hr}$ ）。而將 OUR<sub>1</sub> 扣除 OUR<sub>0</sub> 即為菌（污泥）之活性，

其中：

OUR<sub>1</sub>：微生物之內呼吸加消化菌之攝氧率。

OUR<sub>0</sub>：不加基質之內呼吸攝氧率。

#### 3-5-2 污泥濃度之測定

取 10 ml 水樣，以  $1.5\ \mu\text{m}$  孔徑之玻璃纖維濾紙過濾，將濾紙置入鋁箔盤內，放入烘箱中烘乾 24 小時，之後放入恆溫箱中降至室溫，再秤重，將此重扣除空盤和濾紙重，即得 MLSS（ $\text{mg/L}$ ）。再將此濾紙與鋁盤置入高溫裂解爐中（溫度  $550^\circ\text{C}$ ）裂解 0.5 小時後，放入恆溫箱中降至室溫，再秤重，將此重扣除空盤和濾紙重得一重量（w1），以 MLSS 扣除此重（w1），即得 MLVSS（ $\text{mg/L}$ ）。

### 3-5-3 SVI 之測定

取水樣 100 ml 置於 100 ml 的量筒中，經沈降 30 分鐘後，記錄污泥沈降之體積，得  $SVI = (\% \text{可沈降固體} * 10000 / MLSS)$  (單位為 mg/L)。

### 3-5-4 COD 之測定

將 sample 稀釋至 COD 約在 0~1500 mg/L 的範圍內，取其 2 ml 置於 COD 瓶內。加入 0.05 g HgSO<sub>4</sub>，0.5 ml 1N 之重鉻酸鉀溶液，2.5 ml 之硫酸試劑與之混合，再於 150 °C 下加熱 2 小時。待冷卻至室溫後，以波長 620 nm 之比色計直接讀取 COD 值 (mg/L)。

COD 分析藥劑配製方法：

- (1) 1N 重鉻酸鉀溶液 (K<sub>2</sub>CrO<sub>7</sub>)：49.036 g K<sub>2</sub>CrO<sub>7</sub> 以去離子水稀釋至一公升。
- (2) 硫酸試劑：250 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 2.5g Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 或 22 g Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 4 Kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>。
- (3) C<sub>8</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>4</sub> (KHP)：為 COD 標準溶液 1000 mg/L，0.85 g KHP 以去離子水稀釋至一公升。

於上述之 COD 分析方法中，所採用之分析藥品的等級與廠牌如表 3-4 所示

表3-4 COD分析方法所採用之分析藥品的等級與廠牌

分析藥品名稱	廠牌、等級
Dimethyl Chloride	美國MERCK公司，試藥一級
C8H5KO4(KHP)	日本林純藥工業株式會社，試藥一級
K2Cr2O7	日本林純藥工業株式會社，試藥一級
Ag2SO4	日本林純藥工業株式會社，試藥一級
H2SO4	美國MERCK公司，試藥一級

### 3-5-5 氣相層析儀之分析測定

(1) 氣相層析儀之操作條件：如表3-5所示

表3-5 氣相層析儀之操作條件

ITEM	SPECIFICATION AND OPERATION CONDITION
Apparatus	GC-14A-FID Detector
Recorder	C-R6A
Column style	BC120 (3m) for test Benzene、 Tulene、 Xylene； OV-17 (3m) for test Naphthalene



Program	BC-120 : 50°C--80°C OV-17 : 50°C--80°C--100°C (5/min)
Range	2
Injection Temp	240 °C
Detector Temp	280 °C
Carrier gas	N2 : 20 ml/min
Air Flow	0.6 (Kg/cm <sup>2</sup> )
Hydrogen Flow	0.6 (Kg/cm <sup>2</sup> )

(2) 積分器之設定條件如表3-6所示

表3-6 積分器之設定條件

名稱	數值	名稱	數值
WIDTH	5	SLOPE	75
DRIFT	0	MIN.AERA	500
T.DBL	0	STOP TM	20
ATTEN	4	SPEED	2
METHOD	41	FORMAT	0
SPL.WT	100	IS.WT	1

(3) 決定Dimethyl Chloride對苯、甲苯、對二甲苯和萘的萃取時間：

萃取時間與反應物溶解在溶劑之速率及萃取時溶劑和污泥間對反應有機物的相互競爭有關，因此本實驗將測定反應物溶解在萃取溶劑中之速率快慢。

將定量的純苯、甲苯、對二甲苯和萘各自溶在 Dimethyl Chloride 中，發現苯、甲苯、對二甲苯迅速均會溶解在此溶劑中，而萘則約在5秒內即全溶入此溶劑內。本實驗也嘗試在有污泥存在時以溶劑萃取反應物，將測試萃取時間定為10 min 和1 hr，得到之萃取率分別為70.14% 及75% ，可見此二個萃取率之間相差值並不大，探討萃取率之不同的原因可能為：因溶劑與污泥在萃取實在相互競爭反應物時，其時間越長所得之萃取率將越大，但有另一原因需考慮為：在長的萃取震盪時間中，溶劑會因震盪使萃取容器內部壓力增大，使得溶劑蒸氣較易漏出，而造成有機物萃取率的增加（因溶劑總體積因揮發而減少），因此本實驗決定萃取時間為10分鐘。

(4) 以Dimethyl Chloride來萃取苯、甲苯、對二甲苯和萘的萃取率（萃取時間為10分鐘），如表3-7所示

表3-7 以Dimethyl Chloride萃取苯、甲苯、對二甲苯和萘的萃取率

反應物	萃取率 (%)
Benzene	72.15

Toluene	71.43
p-Xylene	69.75
Naphthalene	70.14

(5) 取廢水水樣50 ml於分液漏斗中，以1：1體積比之Dimethyl Chloride萃取10 min後，再以高速離心機於3000 rpm下離心十分鐘後，取出下層液進行GC分析。

#### (6) GC之檢量線

以純的Dimethyl Chloride來配製苯、甲苯、對二甲苯和萘之標準濃度品：苯、甲苯、對二甲苯的濃度分別為25 mg/L、50 mg/L、75 mg/L、100 mg/L，而萘的濃度則為10 mg/L、20 mg/L、30 mg/L、40 mg/L，求出苯、甲苯、對二甲苯和萘的GC濃度對GC area的檢量線關係式為：

$$\text{苯：濃度 (mg/L)} = (\text{GC area} + 3427.65) / 402.367$$

$$\text{甲苯：濃度 (mg/L)} = (\text{GC area} + 1018.41) / 376.24$$

$$\text{對二甲苯：濃度 (mg/L)} = (\text{GC area} + 2004.633) / 324.51$$

$$\text{萘：濃度 (mg/L)} = (\text{GC area} + 5056.78) / 467.23$$

## 第四章 結果與討論

### 4-1 活性污泥中之微生物生態

本實驗中以人工合成廢水在活性污泥法中所馴養的污泥，由顯微鏡中可見污泥中存在許多細菌及真菌，而原生動物則以自由游動性鞭(纖)毛蟲類佔優勢。如下圖所示。

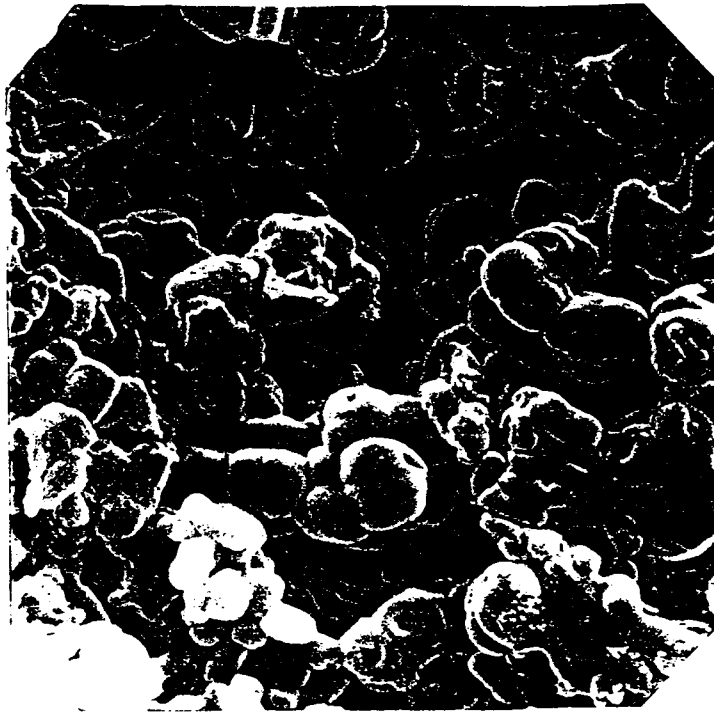


圖4-1-1 SEM (電子顯微鏡) 所照之活性污泥混合菌種之情形

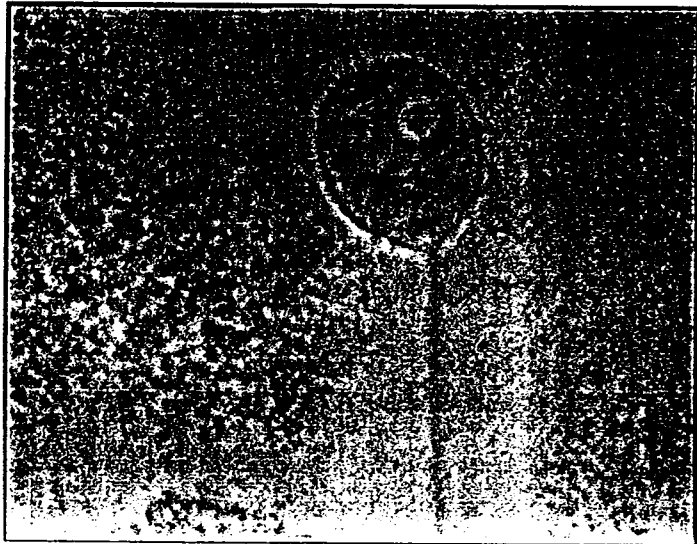
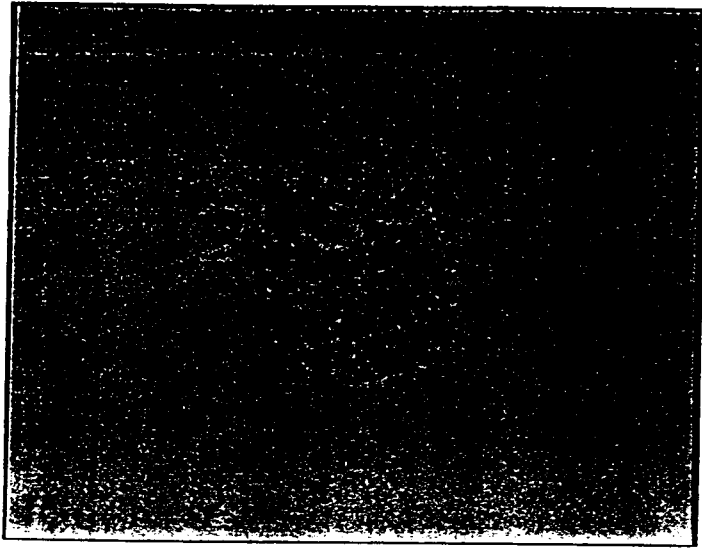


圖4-1-2 光學顯微鏡所照之活性污泥混合菌種之情形

## 4-2 連續式活性污泥法處理的結果

### 4-2-1 在不同流速下，活性污泥在CSTR處理含萘(15 mg/L)有機廢水過程中之變化情形

1. 在不同流速下，活性污泥分解萘(15 mg/L)之COD和MLSS之變化情形；另將SOUR與萘之分解變化情形及利用呼吸儀測試馴養污泥對於純15mg/L基質-萘之利用情形則列於附錄。

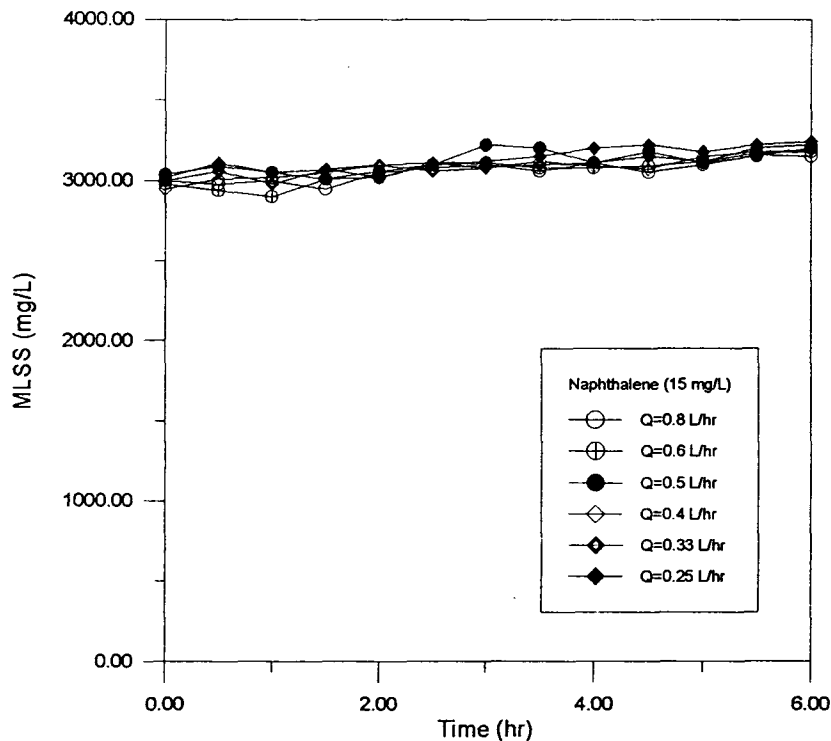


圖4-2-1 在不同流速下，馴養污泥處理含萘(15 mg/L)之有機廢水之MLSS變化情形

由圖形可知馴養污泥增長平緩約在3000~3200mg/L左右。

故按照圖中之流速，可算出其F/M值：

Q=0.8 L/hr	————→	F/M=2.56 mg COD/mg-SS-day
Q=0.6 L/hr	————→	F/M=1.92 mg COD/mg-SS-day
Q=0.5 L/hr	————→	F/M=1.60 mg COD/mg-SS-day
Q=0.4 L/hr	————→	F/M=1.28 mg COD/mg-SS-day
Q=0.33 L/hr	————→	F/M=1.06 mg COD/mg-SS-day
Q=0.25 L/hr	————→	F/M=0.80 mg COD/mg-SS-day

本研究所決定之馴養污泥分解有機碳源之生長速率，因實驗之所有過程均有添加Glucose和BTXN等有機碳源，故在此所探討之馴養污泥在CSTR反應系統中，微生物分解BTXN的生物反應動力學參數時，將Glucose和BTXN等有機碳源對於微生物生長機構的影響一併考慮，所以在此之污泥比生長速率皆為 $\mu = \mu_{app}$ ，而非純萘對污泥生長機構之影響之 $\mu_{Nap}$ 。

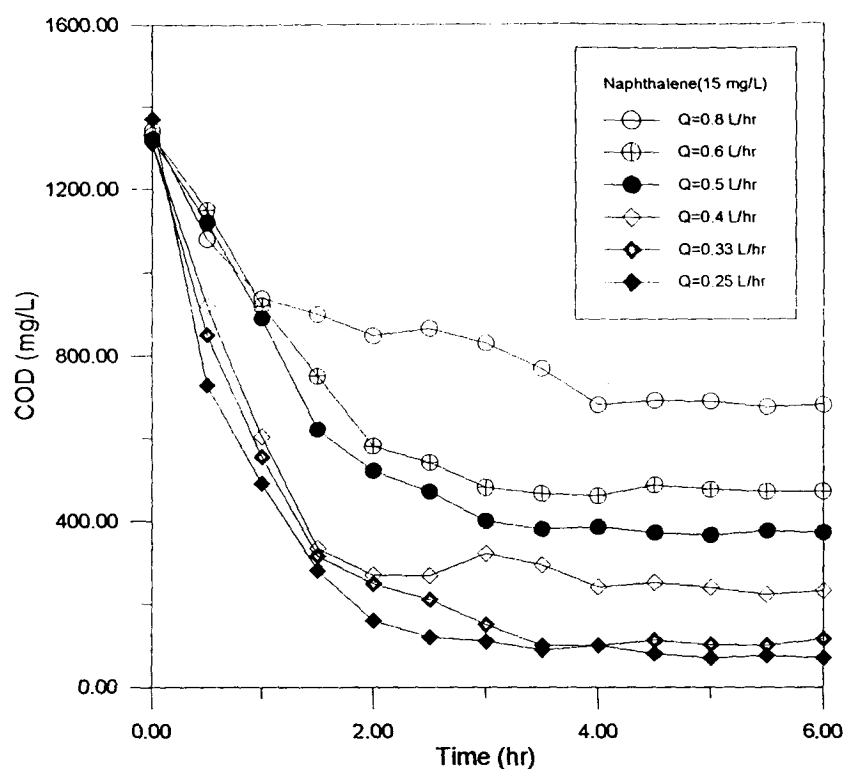


圖4-2-2 在不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）之有機廢水之COD變化情形

故由此圖知在此處理過程中，不同流速下之COD去除效率為：

- Q=0.8 L/hr 去除效果：51.5%
- Q=0.6 L/hr 去除效果：66.2%
- Q=0.5 L/hr 去除效果：73.5%
- Q=0.4 L/hr 去除效果：84.7%
- Q=0.33 L/hr 去除效果：91.5%
- Q=0.25 L/hr 去除效果：95.8%



由此實驗中測得在不同流速 ( $Q=0.8,0.6,0.5,0.4,0.33,0.25$  L/hr時) 下之  $S_o, S_e, X$ ，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，從而求得  $q_{max}$  和  $K_s$  值。

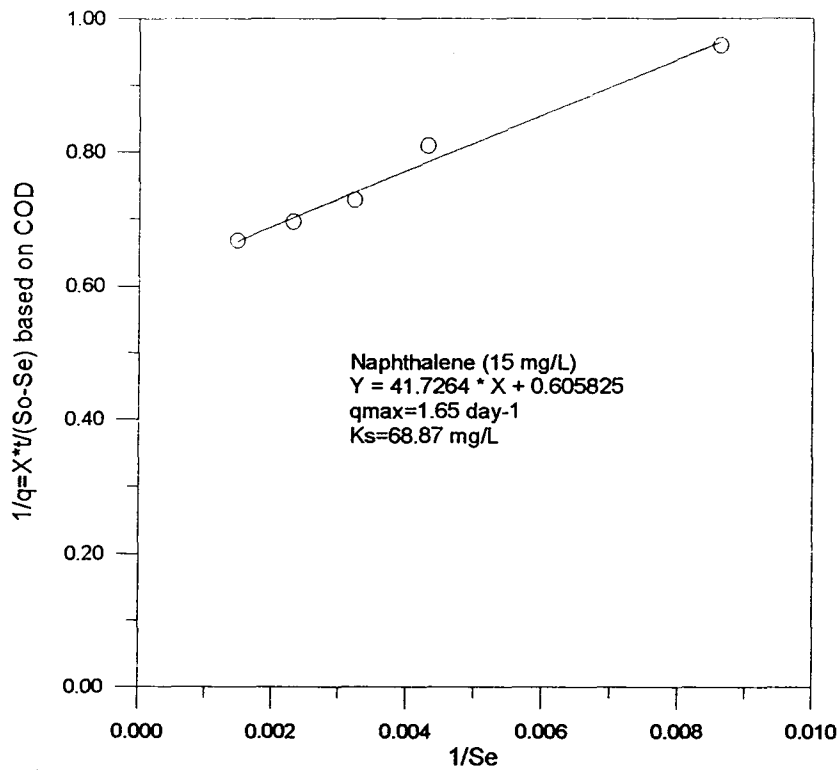


圖4-2-3 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L) 之有機廢水中，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所求得活性污泥之  $q_{max}$  和  $K_s$  值。

再由此實驗中測得在不同流速 (0.8,0.6,0.5,0.4,0.33, 0.25 L/hr時) 下測得之  $S_o, S_e, X$ , 利用公式2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖, 從而求得  $Y$  和  $K_d$  值。

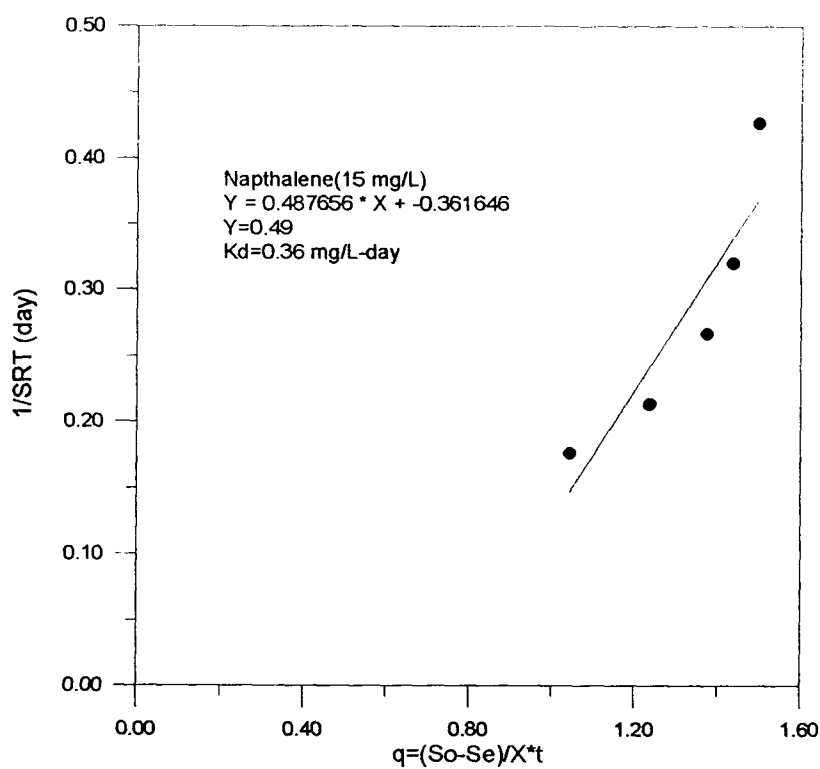


圖4-2-4 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L) 之有機廢水中, 利用公式2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖, 所求得活性污泥之  $Y$  和  $K_d$  值。

2. 在不同流速下，活性污泥分解未含BTXN等有機物之廢水時之COD和MLSS之變化情形

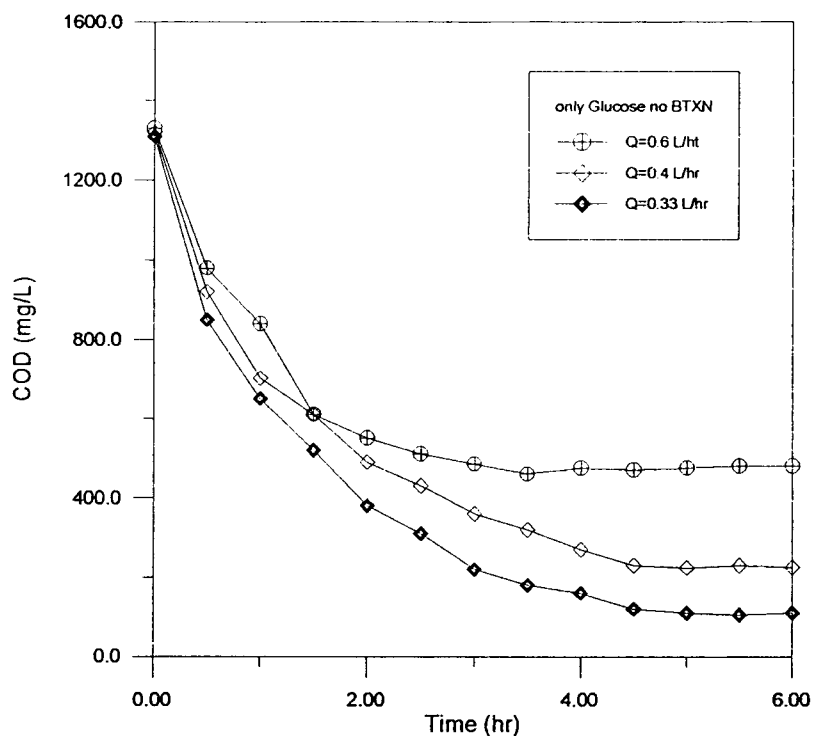


圖4-2-5 在不同流速下，馴養污泥處理未含BTXN等有機物之廢水之COD變化情形

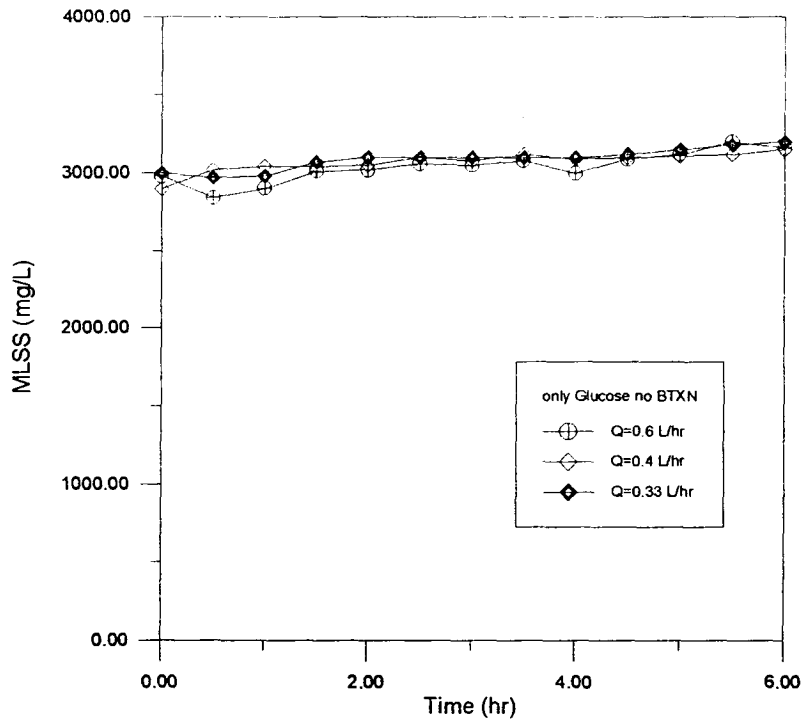


圖4-2-6 在不同流速下，馴養污泥處理未含BTXN等有機物有機廢水之MLSS變化情形

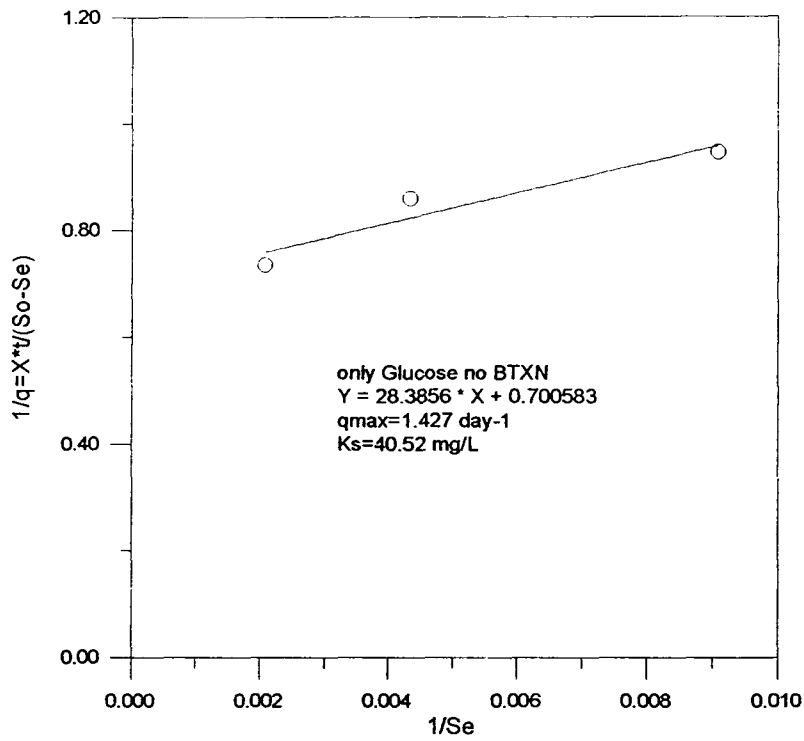


圖4-2-7 以活性污泥分解未含BTXN等有機廢水中，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所求得活性污泥之  $q_{max}$  和  $K_s$  值。

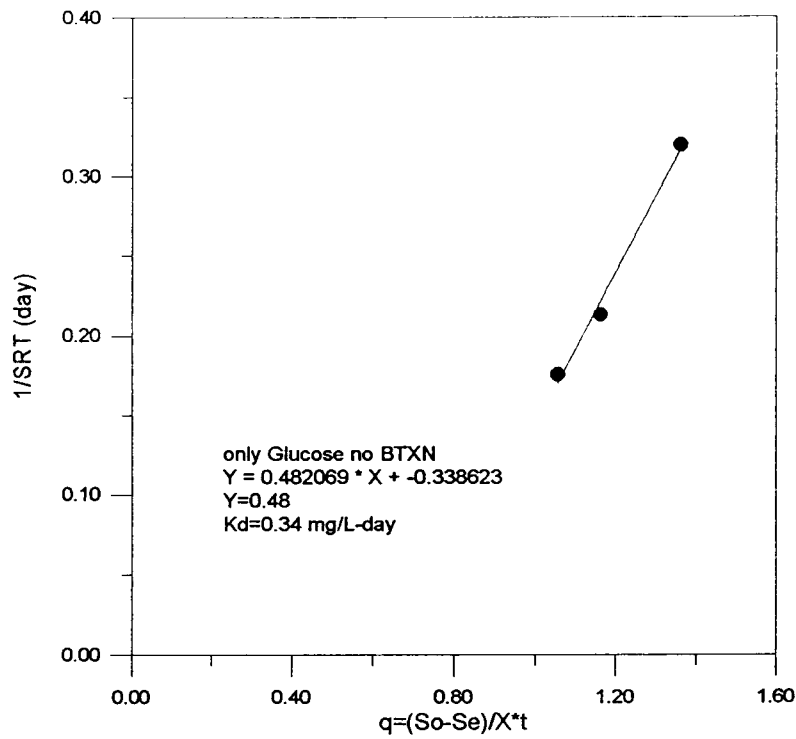


圖 4-2-8 以活性污泥分解未含BTXN等有機廢水中，利用公式 2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求得活性污泥之  $Y$  和  $K_d$  值。

4-3 在不同的基質起始濃度下，改變流速，找出馴養污泥之最小停留時間

利用含萘（15 mg/L）之有機廢水，在不同的起始濃度下（720 mg/L和360 mg/L時）改變流速為 $Q=5,10,15,20,25,30,35,45,55,60$  L/day時，以實驗分析測得 $S_o, S_e, X$ ，作圖找出此馴養污泥之最小停留時間（ $\theta_c^M$ ）。

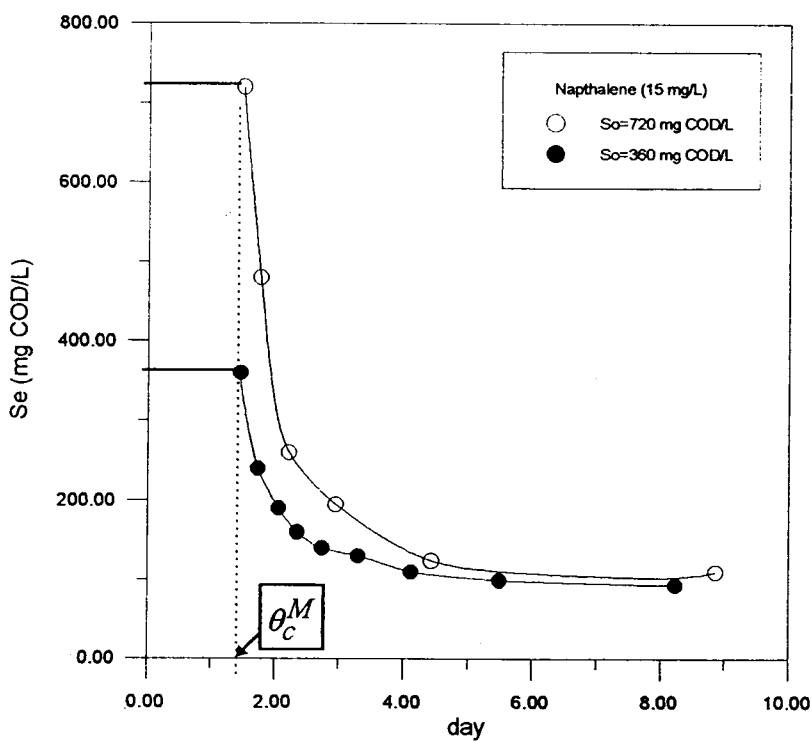


圖4-3-1 由 $S_e$  vs.  $\theta_c$  變化關係圖，所求得之馴養污泥之最小停留時間， $\theta_c^M=1.47$  day

上述實驗中，利用含茶（15 mg/L）之有機廢水，改變流速為 $Q=5,10,15,20,25,30,35,45,55,60$  L/day時，由實驗測得的SVI值，作圖找出污泥最佳沉降之有機負荷值。

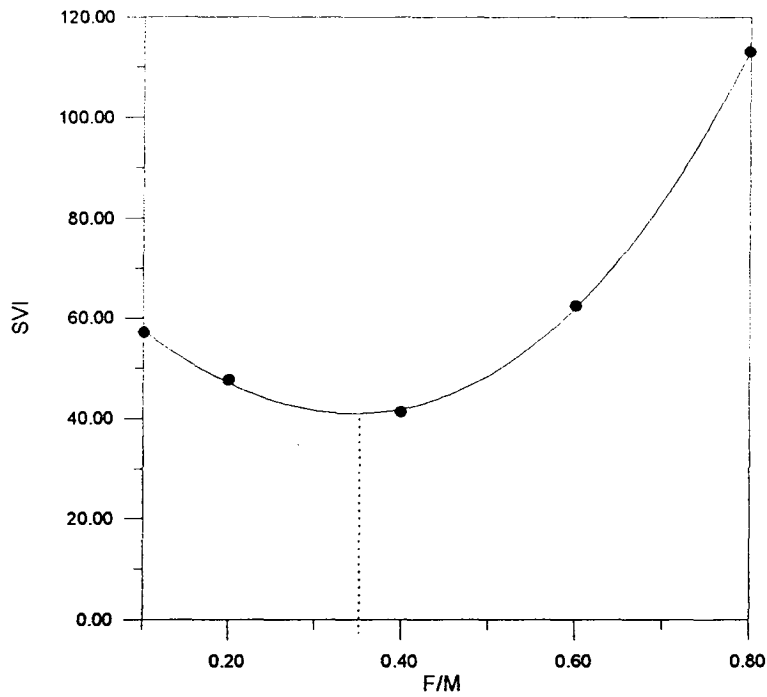


圖4-3-2 馴養污泥處理含茶（15 mg/L）之有機廢水的不同 F/M與SVI 之關係

由圖4-3-1可知，污泥之最佳沉降之有機負荷值為0.36



#### 4-4 在萃取時，活性污泥對基質之反應

依據文獻<sup>(5)</sup>指出一般微生物在萃取時間為4小時內時產生生物分解基質之反應機率小於1%，而本實驗萃取時間只有10 min，所以不考慮在萃取過程中有生物分解的情形發生。

#### 4-5 活性污泥對基質萘之吸附量和揮發量

本實驗中之污泥吸附基質量，則如下表4-5-1所示

表4-5-1 活性污泥對基質—萘之吸附量

基質(mg/L)	起始濃度(mg/L)	吸附量 (mg/g-vss)
萘	10	0.61
萘	15	0.74

而在上述的起始濃度時，曝氣槽中萘經由曝氣所造成的揮發量則如圖4-5-1所示：

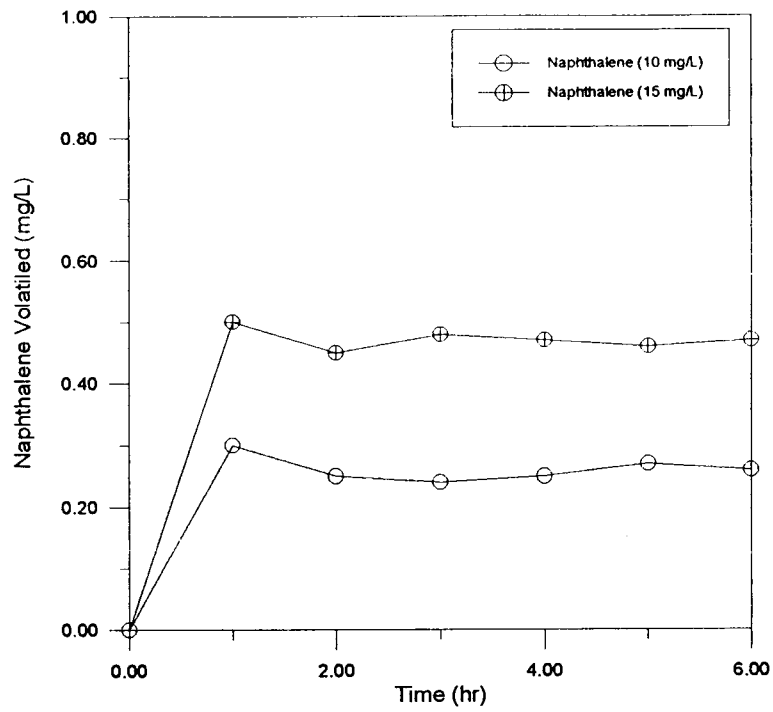


圖4-5-1 在曝氣槽中，不同起始濃度（10 mg/L和15 mg/L）時萘之揮發量

4-6 CSTR 操作系統中，進行圖4-2-2時，pH與D.O.之線上  
監控情形

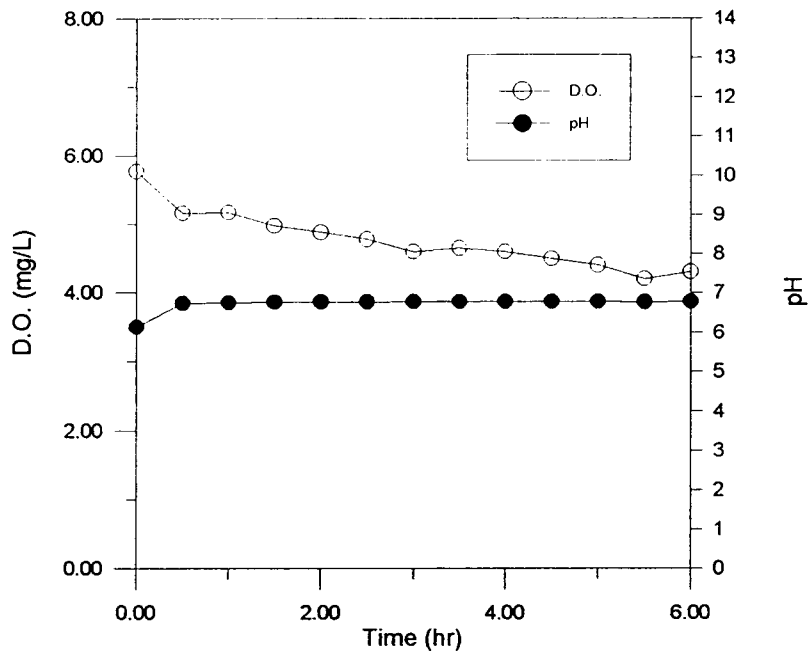


圖4-6-1 CSTR操作系統中，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）  
之有機廢水時，pH 與 D.O.之線上監控情形

圖形說明：

活性污泥處理廢水時之pH和D.O.變化如圖4-6-1所示，圖中pH均介於6.5~7.0之間，為中性，適合活性污泥生長，D.O.則均處於穩定供應狀態。

#### 4-7 污泥濃度的變化情形

馴養污泥分解含茶 (15 mg/L) 有機廢水時，其污泥濃度的變化如圖4-7-1所示：

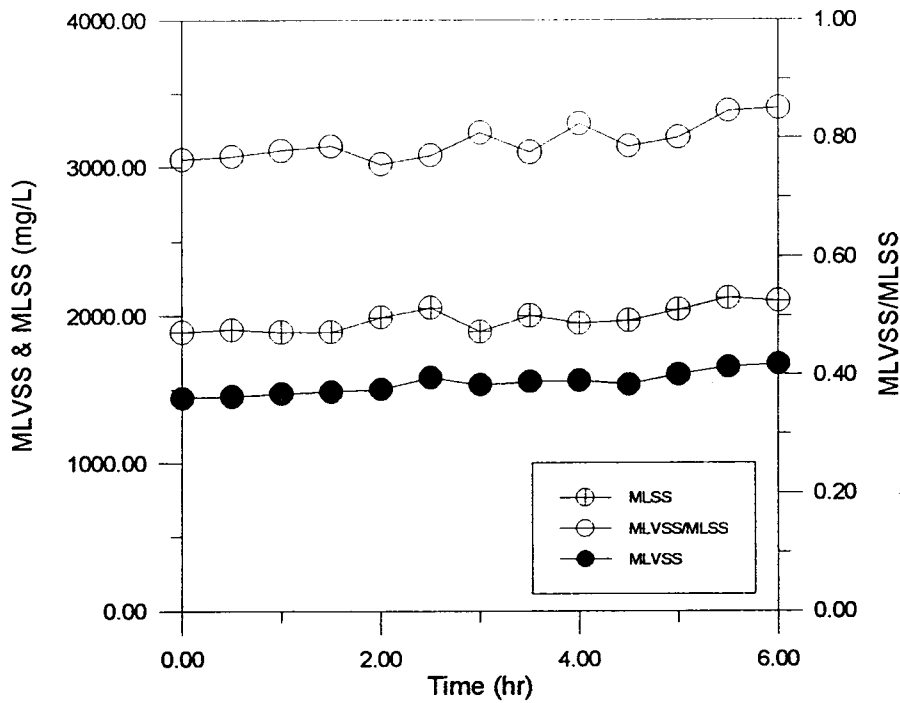


圖4-7-1 CSTR操作系統中，馴養污泥處理含茶 (15 mg/L) 之有機廢水時，MLSS、MLVSS與時間變化之關係之關係

圖形說明：

活性污泥處理廢水時之污泥濃度變化吾以典型之圖形代表之，此圖為活性污泥之揮發性懸浮固體濃度 (MLVSS)

與懸浮固體濃度 (MLSS) 及其比值 (MLVSS/MLSS)，此值代表活性污泥中真正分解基質之活性污泥所佔的比率，約為0.47~0.53。

#### 4-8 活性污泥生物分解反應中，基質—苯、甲苯和對二甲苯對於馴養污泥分解萘之影響

##### 4-8-1 在相同流速下之微生物分解實驗結果

本實驗由4-3節的結果得知，需控制污泥停留時間大於最小污泥停留時間 ( $\theta_c > \theta_c^M$ )，因此在此CSTR系統下，固定進料廢水流速為0.33 L/hr ( $\theta_c = 4.5 \text{ day} > \theta_c^M = 1.47 \text{ day}$ )，進行不同組成濃度的複合基質—萘、萘+苯、萘+甲苯、萘+對二甲苯之生物分解實驗，其結果如下：

根據圖4-8-1可得知利用馴養污泥於CSTR反應系統下，對基質—萘 (15 mg/L)、萘 (15 mg/L)+苯 (100 mg/L)、萘 (15 mg/L)+甲苯 (100 mg/L)、萘 (15 mg/L)+對二甲苯 (100 mg/L) 進行生物分解時，其中萘的分解時間，其結果如表4-8-1所示。

表4-8-1 萘之生物分解時間

反應物	起始濃度 (mg/L)	萘之生物分解 所需時間 (hrs)
-----	-------------	----------------------

萘	15	3.5
萘+苯	15+100	3
萘+甲苯	15+100	3
萘+對二甲苯	15+100	3.5

\*表中萘分解時間的定義為GC不再測得萘殘餘濃度濃度為止的時間。

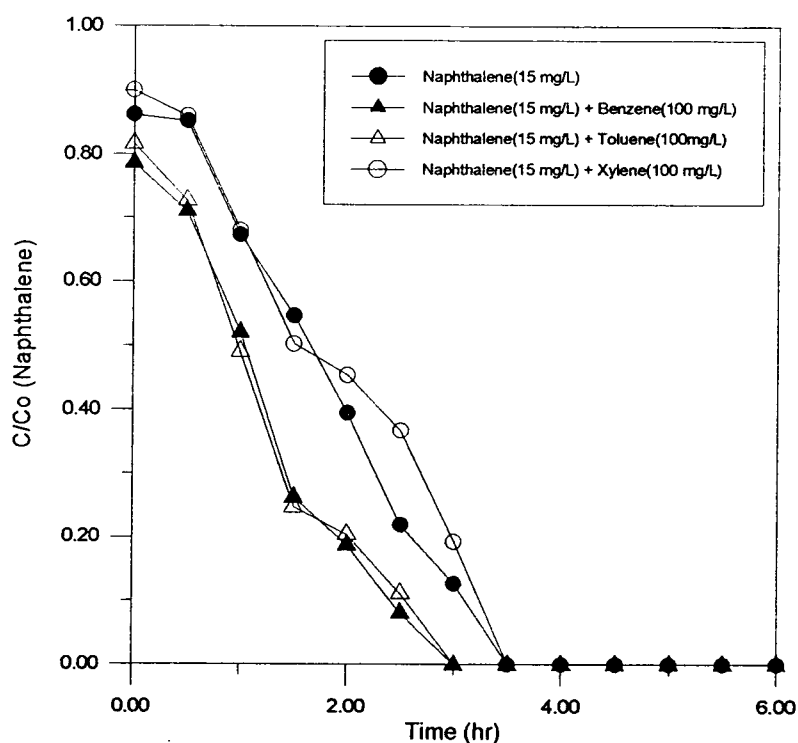


圖4-8-1 馴養污泥對複合基質—萘(15 mg/L)、萘(15 mg/L) + 苯(100 mg/L)、萘(15 mg/L) + 甲苯(100 mg/L)、萘(15 mg/L) + 對二甲苯(100 mg/L) 中萘之生物分解結果 (C/Co=萘的濃度殘餘率)

由此結果可得知，基質僅含萘的廢水中若是添加了苯，則會有助於萘的生物分解，若是添加甲苯，也會有助於萘的生物分解；但若是添加對二甲苯，對於萘的生物分解會產生些微之抑制效果。

根據圖4-8-2 可得知利用馴養污泥於CSTR反應系統下，對複合基質之萘（15 mg/L）、萘（15 mg/L）+苯（100 mg/L）、萘（15 mg/L）+苯（100 mg/L）+甲苯（100 mg/L）、萘（15 mg/L）+苯（100 mg/L）+甲苯（100 mg/L）+對二甲苯（100 mg/L）進行生物分解時，其中萘之生物分解結果，其結果如表4-8-2所示。

表4-8-2 萘之生物分解時間

反應物	反應物濃度 (mg/L)	萘之生物分解 所需時間 (hrs)
萘	15	3.5
萘+苯	15+100	3
萘+苯+甲苯	15+100+100	3
萘+苯+甲苯+ 對二甲苯	15+100+100+100	4

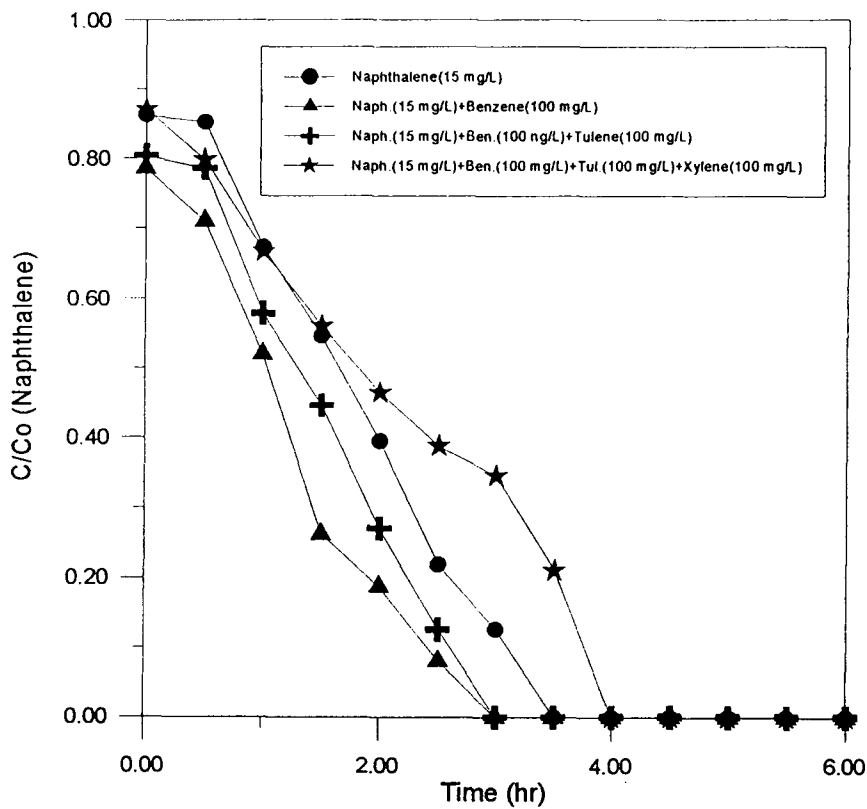


圖4-8-2 馴養污泥對複合基質—萘(15 mg/L)、萘(15 mg/L) + 苯(100 mg/L)、萘(15 mg/L) + 苯(100 mg/L) + 甲苯(100 mg/L)、萘(15 mg/L) + 苯(100 mg/L) + 甲苯(100 mg/L) + 對二甲苯中之萘之生物分解結果 (C/Co=萘的濃度殘餘率)

由此結果可得知，基質僅含萘的廢水中若是添加了苯，則會有助於萘的生物分解，若是再添加甲苯，也會有助於萘的生物分解；但若是再添加對二甲苯，對於萘的生物分解便會產生抑制的效應。



活性污泥對BTX的吸附量值，則如表4-8-3所示。BTX在曝氣槽中的揮發量則如圖4-8-3所示。

表4-8-3 活性污泥對基質BTX之吸附量值

基質(mg/L)	起始濃度(mg/L)	吸附量 (mg/g-vss)
苯	100	4.37
甲苯	100	5.25
對二甲苯	100	6.82

在本實驗的BTXN分解實驗過程中，由表4-5-1知馴養污泥本身對萘的吸附量對圖4-8-1中萘的分解結果佔其去除量的1.0~1.3%，對圖4-8-2中萘的分解結果佔其去除量的0.8~1.1%，又萘本身的揮發量對圖4-8-1中萘的分解結果佔其去除量的5~7.1%，對圖4-8-2中萘的分解結果佔其去除量的4.8~6.8%。

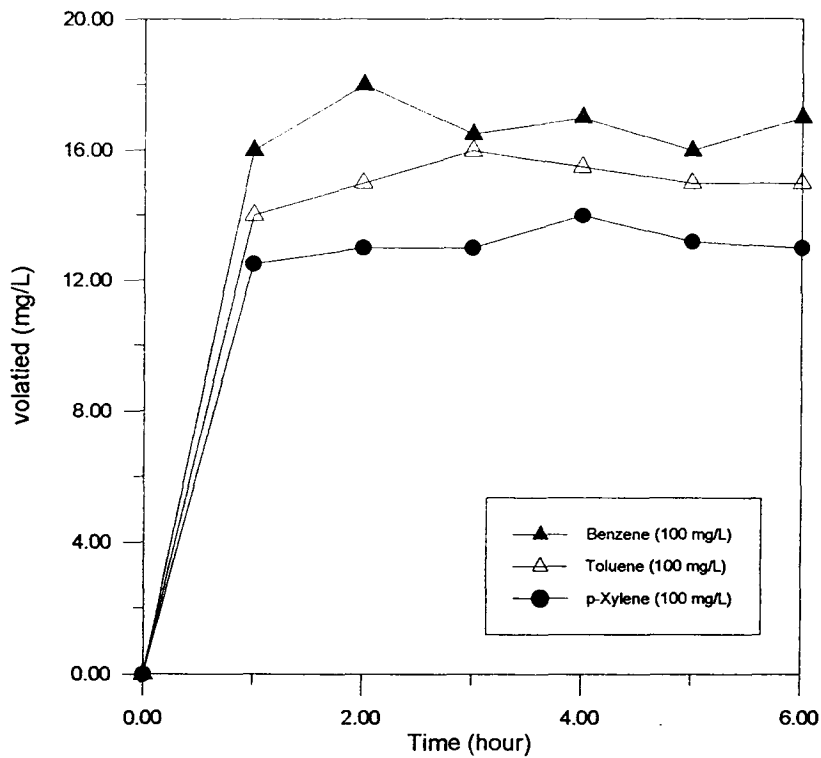


圖4-8-3 曝氣槽中，苯(100 mg/L)、甲苯(100 mg/L)、對二甲苯(100 mg/L)之揮發量

#### 4-8-2 CSTR與SBR之萘之分解速率之實驗結果比較

將CSTR與SBR之萘之分解速率之實驗結果做一比較，如表4-8-4所示。

表4-8-4 CSTR與SBR之萘之分解速率之實驗結果比較

CSTR反應系統		SBR反應系統	
基質 (mg/L)	萘之分解速率 (mg/g-SS-hr)	基質 (mg/L)	萘之分解速率 (mg/g-SS-hr)
萘 (15)	1.4286	萘 (40)	1.9048
萘 (15) + 苯 (100)	1.6667	萘 (40) + 苯 (100)	3.3333
萘 (15) + 甲苯 (100)	1.6667	萘 (40) + 甲苯 (100)	2.2222
萘 (15) + 對二甲苯 (100)	1.4286	萘 (40) + 對二甲苯 (100)	2.2222
萘 (15) + 苯 (100) + 對二甲苯 (100)	1.6667	萘 (40) + 苯 (100) + 對二甲苯 (100)	3.3333
萘 (15) + 苯 (100) + 甲苯 (100) + 對二甲苯 (100)	1.25	萘 (40) + 苯 (100) + 甲苯 (100) + 對二甲苯 (100)	1.4815

由此可看出在CSTR反應系統下，馴養污泥對萘之生物分解速率小於在SBR反應系統下，馴養污泥對萘之生物分解速率

4-9 將4-8節所述之複合基質，改變流速，找出微生物分解之動力參數

由馴養污泥分解萘的實驗結果得知（圖4-2-4和4-2-5）此馴養污泥之動力參數值。而在此將探討廢水中除了添加萘之外，另外再添加其它基質（BTX）時對此馴養污泥之影響。其所得之動力參數值如下列圖形所示。

1. 萘（15 mg/L）添加苯（100 mg/L）時

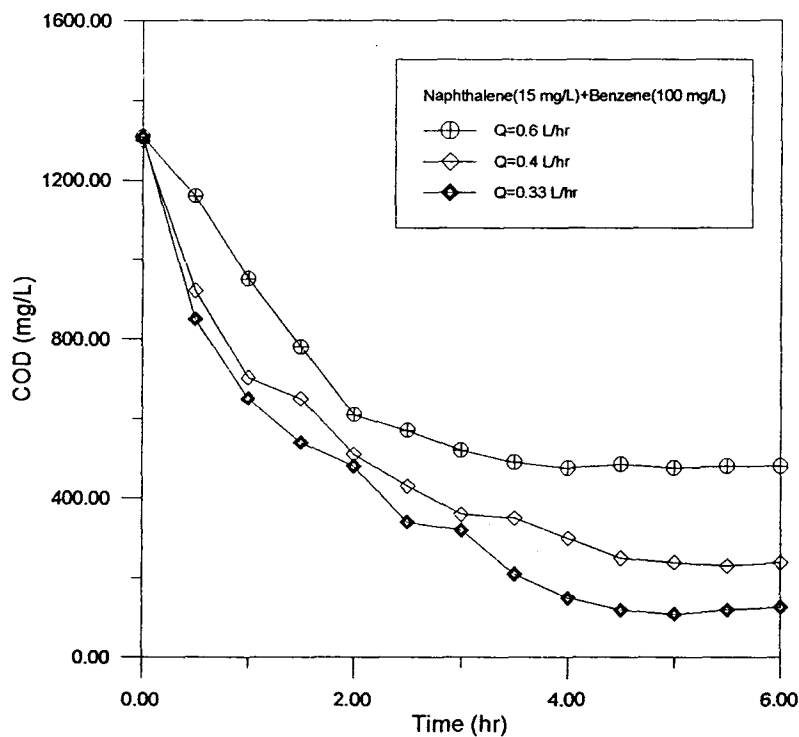


圖4-9-1 不同流速下，馴樣污泥分解含萘（15 mg/L）和苯（100 mg/L）之有機廢水時之COD去除變化情形

在此處理過程中，不同流速下之COD去除效率為：

Q=0.6 L/hr 去除效果：63.4%

Q=0.4 L/hr 去除效果：81.5%

Q=0.33 L/hr 去除效果：90.3%

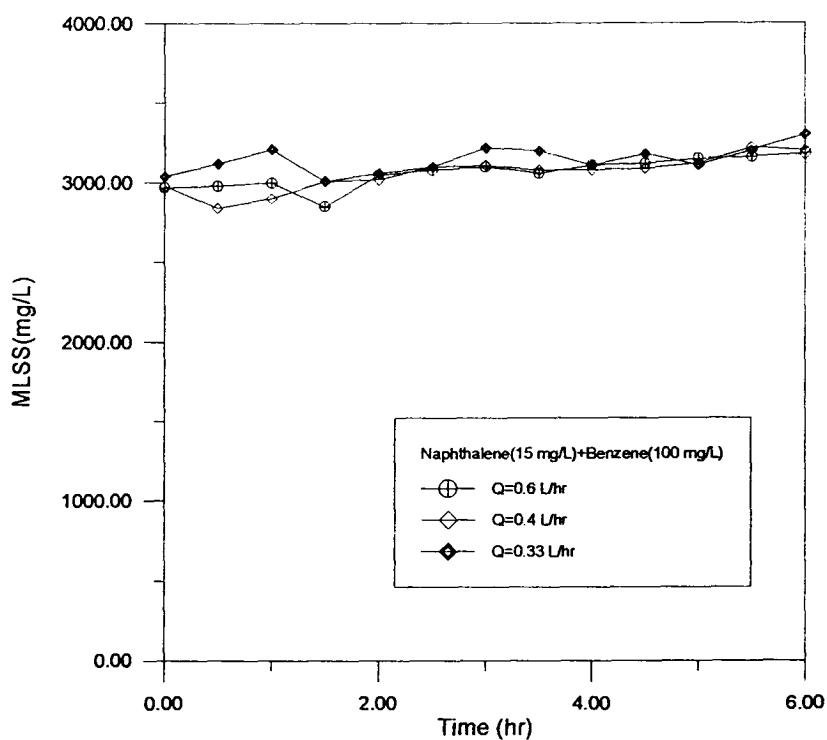


圖4-9-2 不同流速下，活性污泥分解含萘（15 mg/L）和苯（100 mg/L）之有機廢水過程中MLSS之變化情形

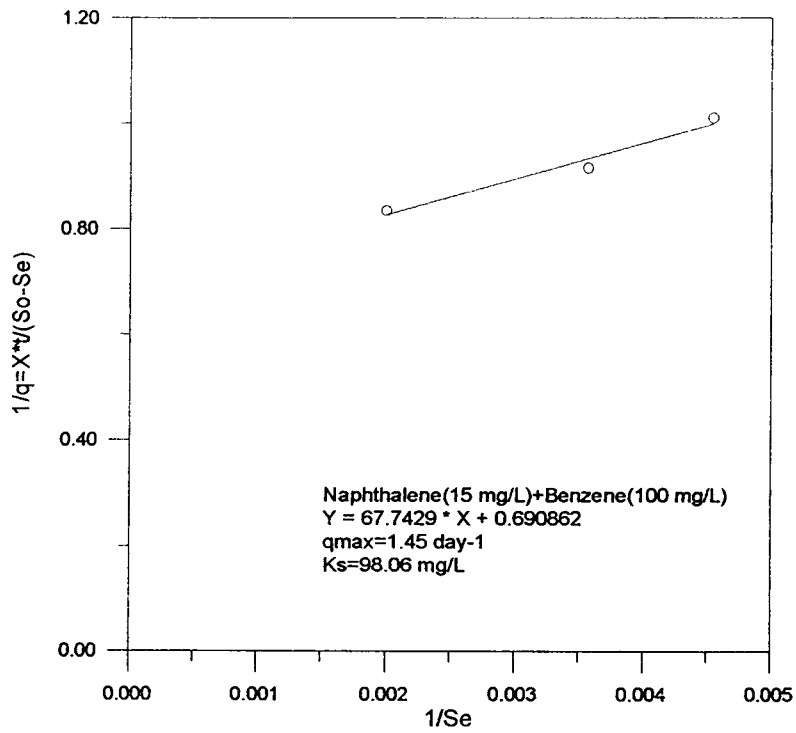


圖4-9-3 以活性污泥分解含萘（15 mg/L）及苯（100 mg/L）之有機廢水中，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所求得活性污泥之  $q_{max}$  和  $K_s$  值。

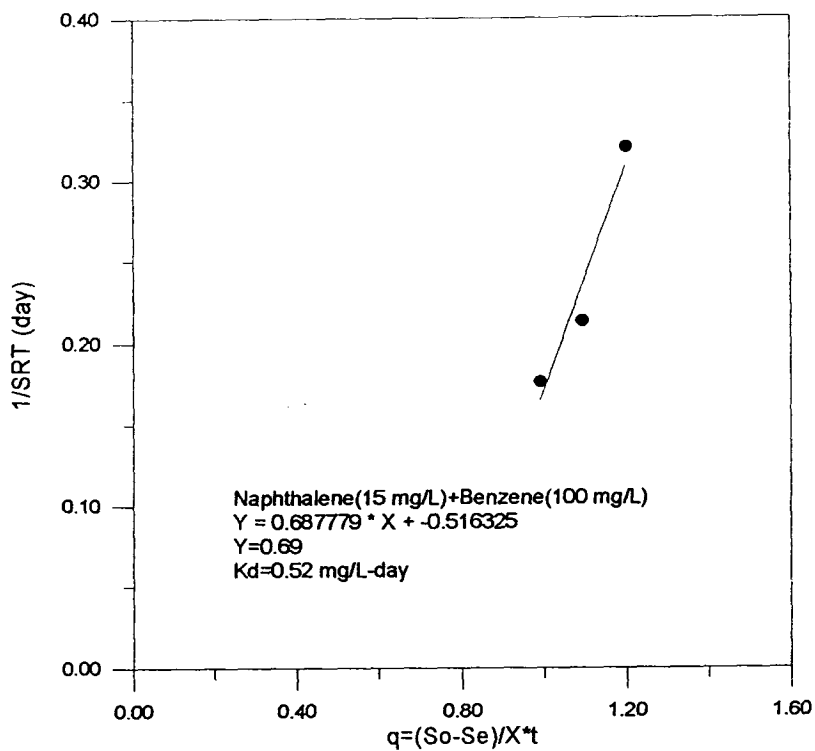


圖 4-9-4 以馴養污泥分解含萘 (15 mg/L) 及苯 (100 mg/L) 之有機廢水中，利用公式 2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求得活性污泥之  $Y$  和  $K_d$  值。

## 2. 萘 (15 mg/L) 添加甲苯 (100 mg/L) 時

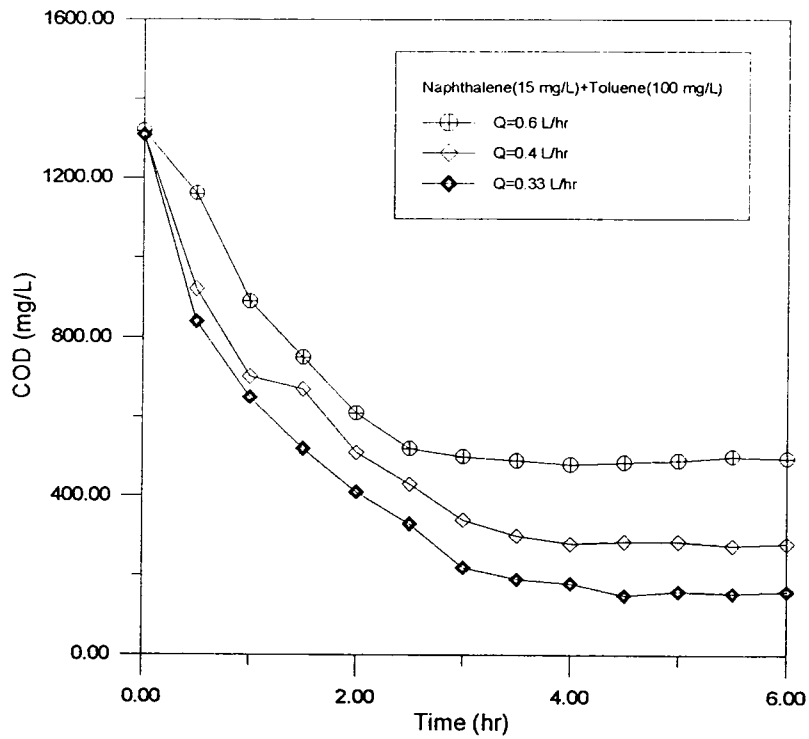


圖4-9-5 不同流速下，馴養污泥分解含萘 (15 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之COD去除變化情形



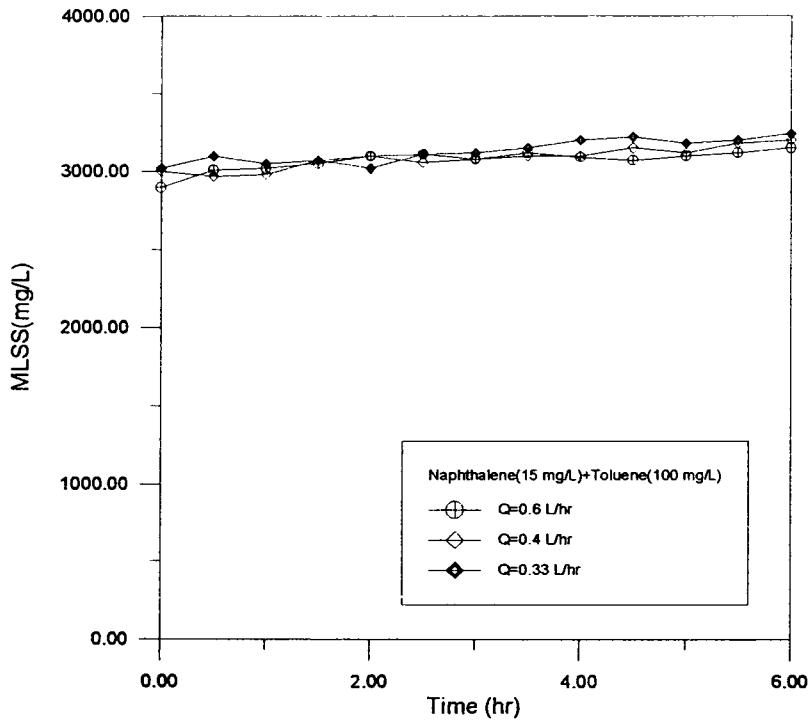


圖4-9-6 不同流速下，馴養污泥分解含萘（15 mg/L）和甲苯（100 mg/L）有機廢水過程中之MLSS變化情形

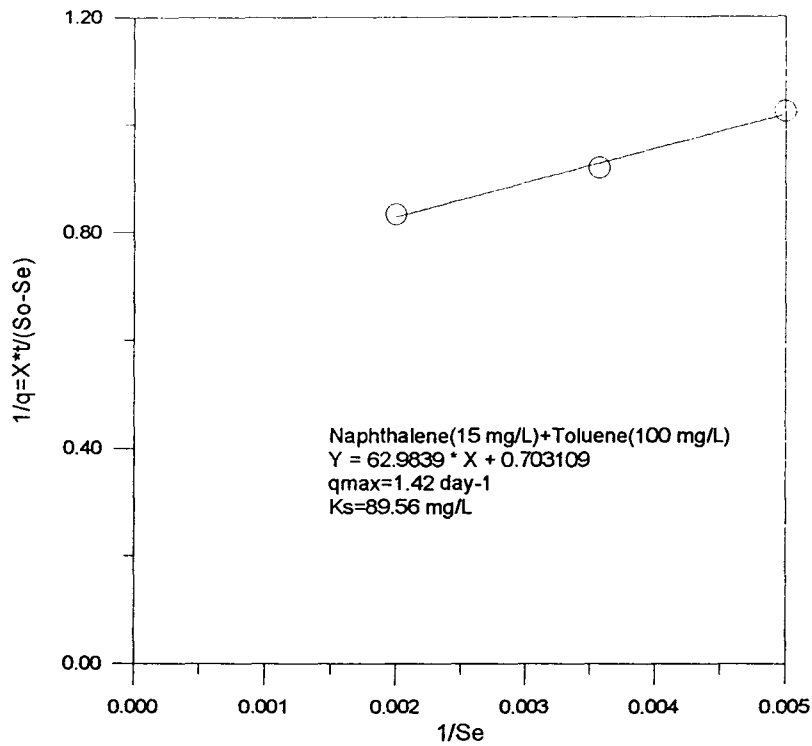


圖4-9-7 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)及甲苯(100 mg/L)之有機廢水中,利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖, 所求得活性污泥之  $q_{\max}$  和  $K_s$  值。

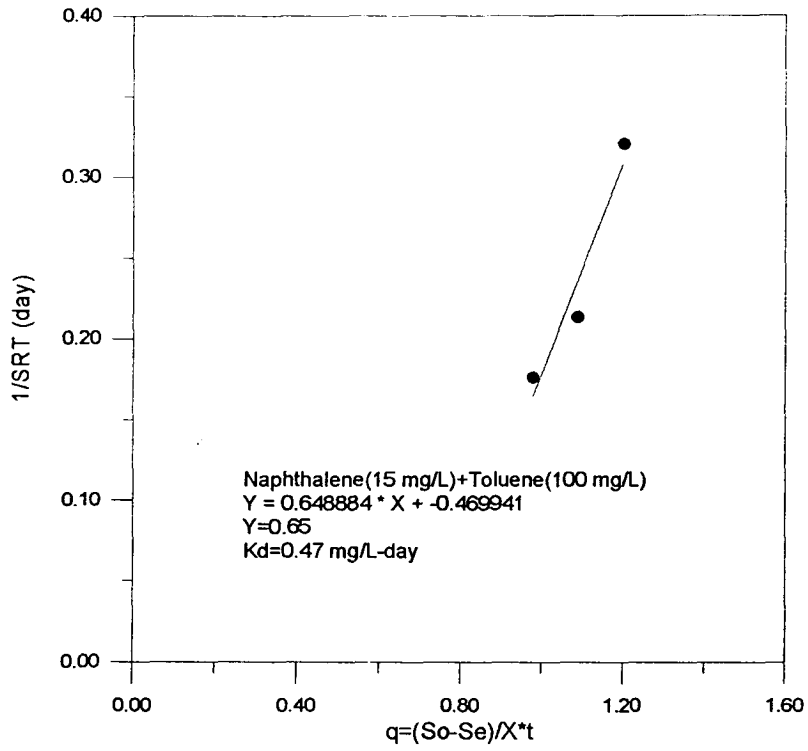


圖 4-9-8 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)及甲苯(100 mg/L)之有機廢水中，利用公式 2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求得活性污泥之  $Y$  和  $K_d$  值。

### 3. 萘 (15 mg/L) 添加對二甲苯 (100 mg/L) 時

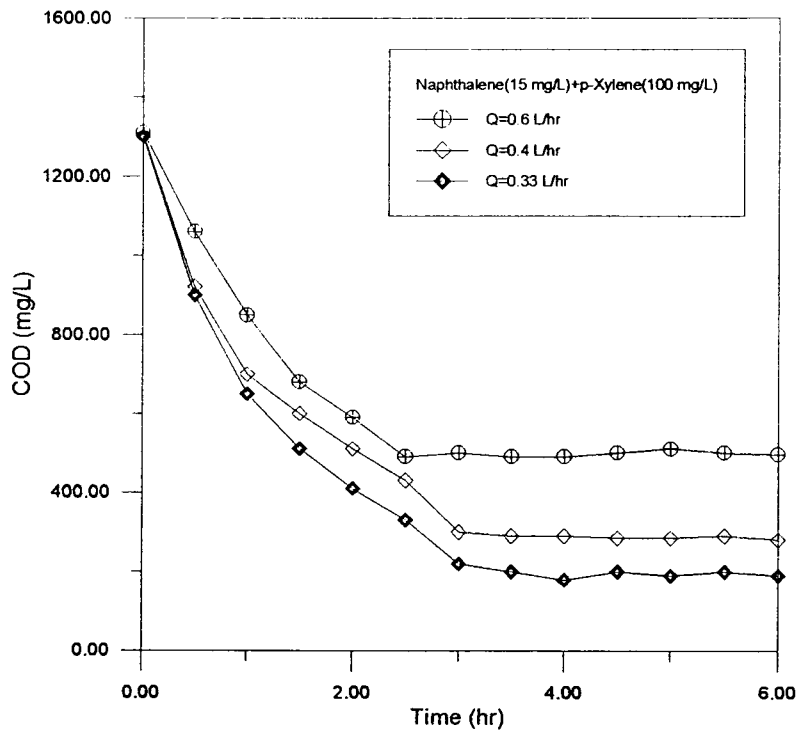


圖4-9-9 不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之COD去除變化情形

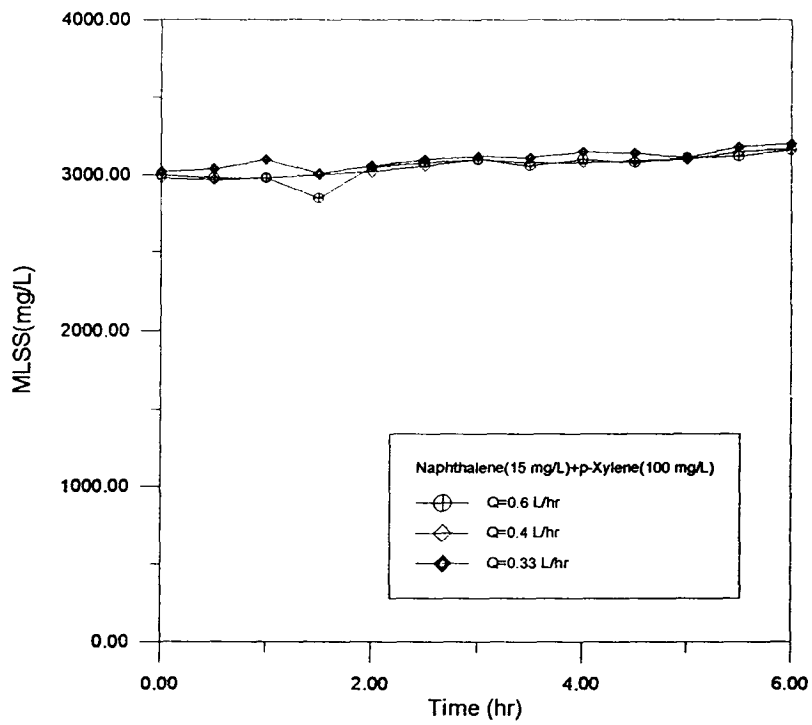


圖4-9-10 不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）和對二甲苯（100 mg/L）有機廢水過程中之MLSS變化情形

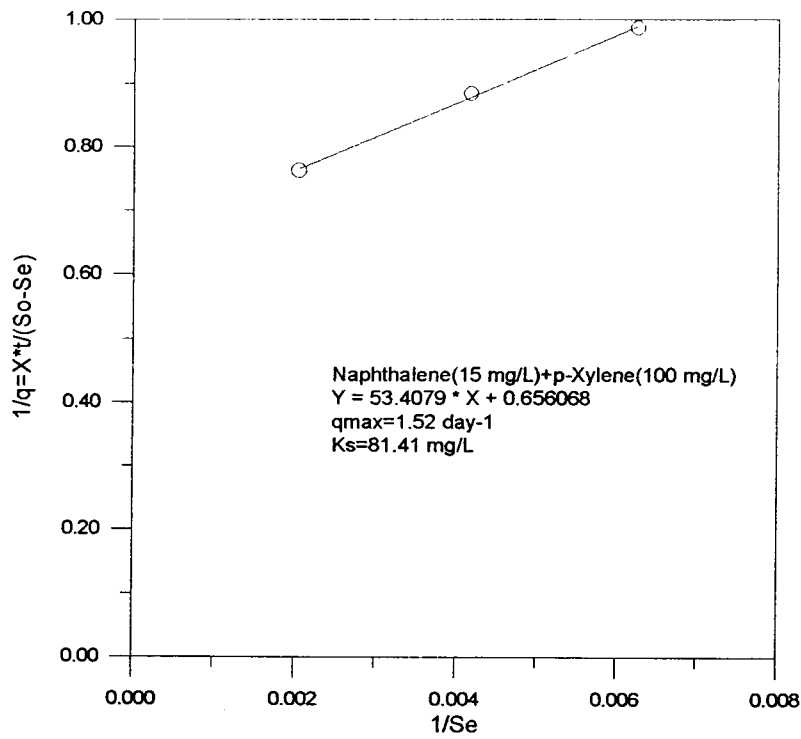


圖4-9-11 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)和對二甲苯(100 mg/L)有機廢水，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所求得活性污泥之  $q_{max}$  和  $K_s$  值。

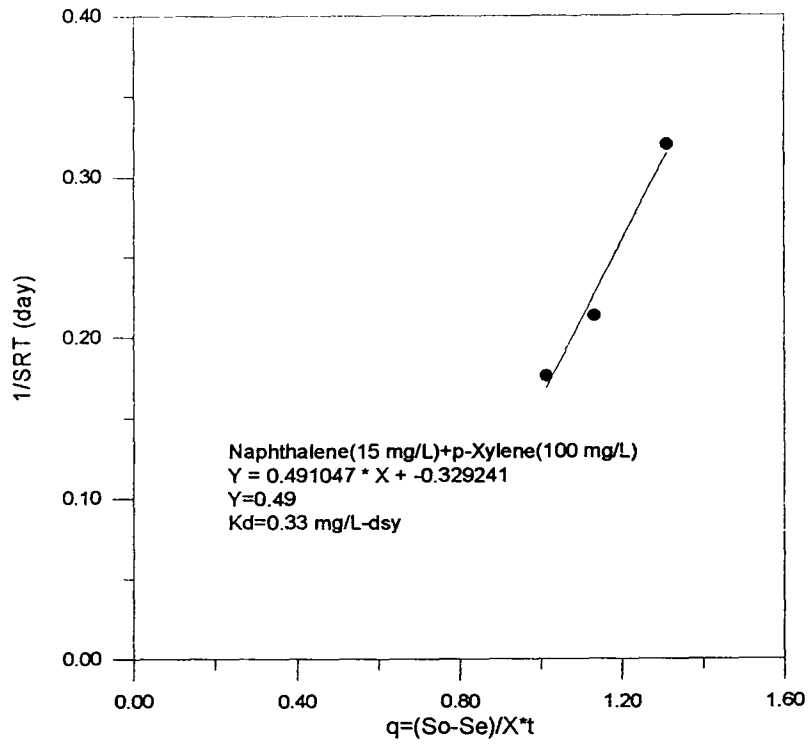


圖4-9-12 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)及對二甲苯(100 mg/L)之有機廢水，利用公式2-5-9作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求得活性污泥之  $Y$ 和  $K_d$ 值。

4. 萘 (15 mg/L) 添加苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L)  
時

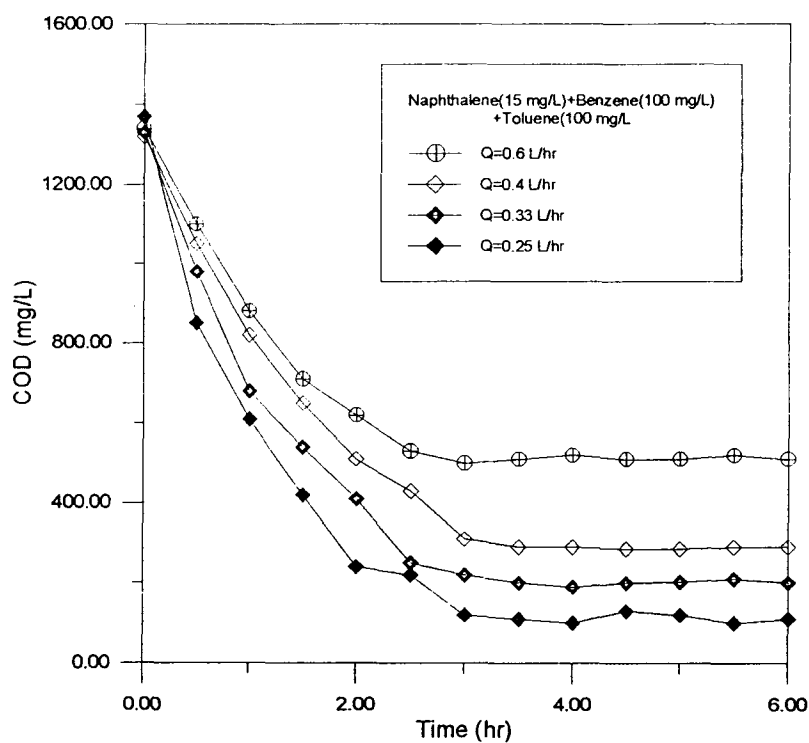


圖4-9-13 不同流速下，馴養污泥分解含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之COD去除變化情形



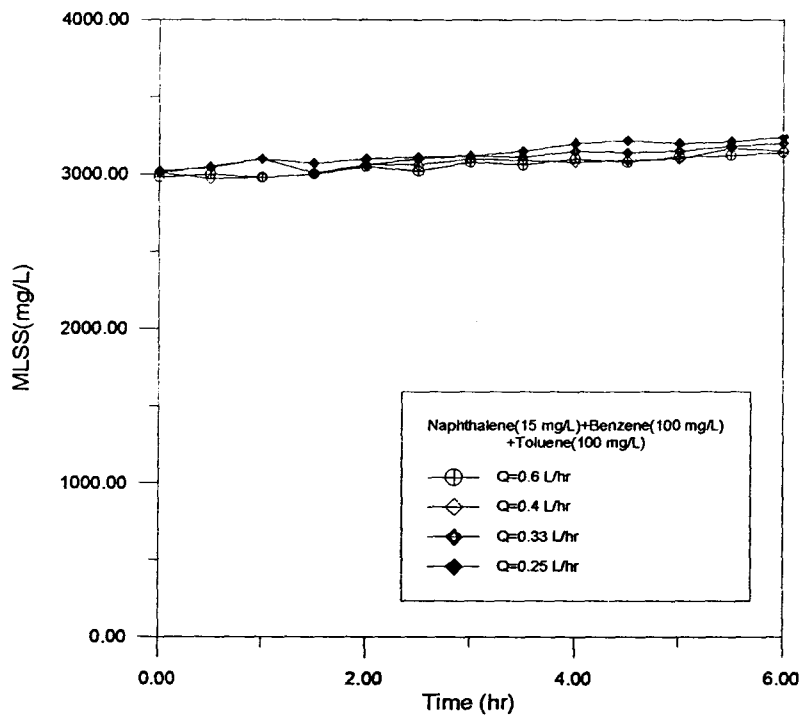


圖4-9-14 不同流速下，馴養污泥分解含萘（15 mg/L）、苯（100 mg/L）和甲苯（100 mg/L）有機廢水過程中之MLSS變化情形

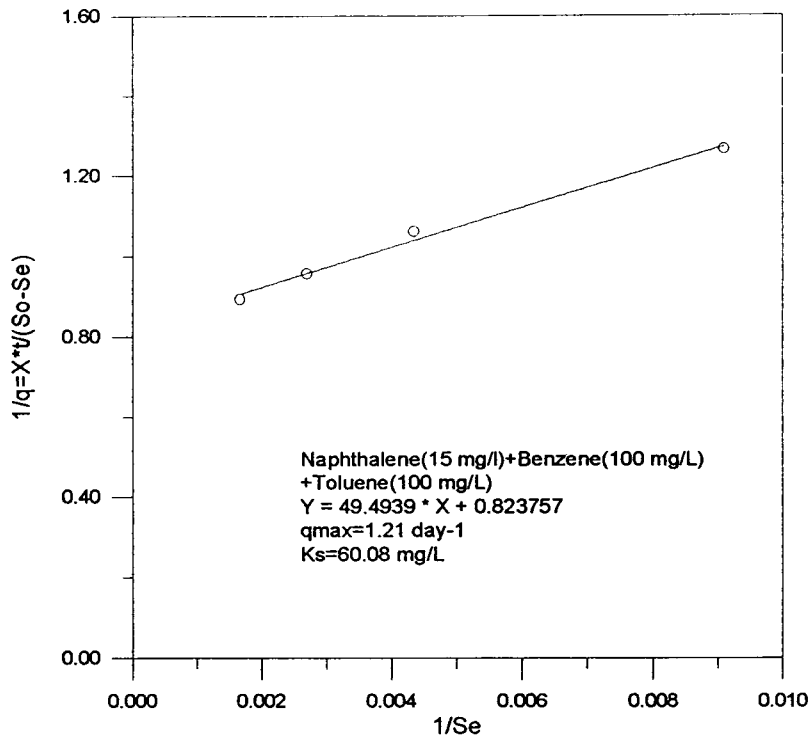


圖4-9-15 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 有機廢水有機廢水中，利用公式2-5-14 作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所求得活性污泥之  $q_{\max}$  和  $K_s$  值。

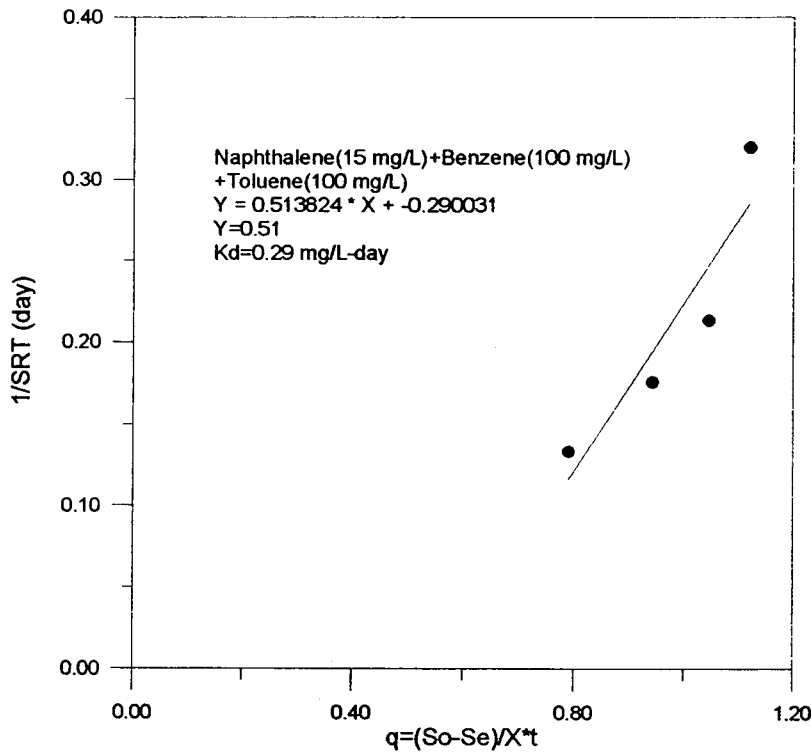


圖4-9-16 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)、苯(100 mg/L)和甲苯(100 mg/L)有機廢水有機廢水中，利用公式2-5-9作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求得活性污泥之  $Y$  和  $K_d$  值。

5. 萘 (15 mg/L) 添加苯 (100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 時

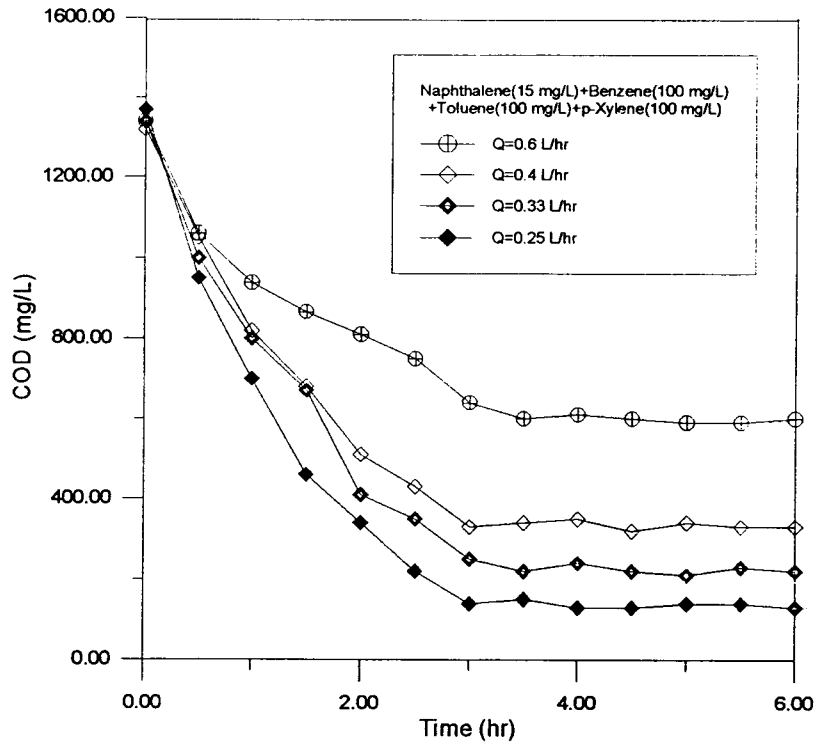


圖4-9-17 不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之COD去除變化情形

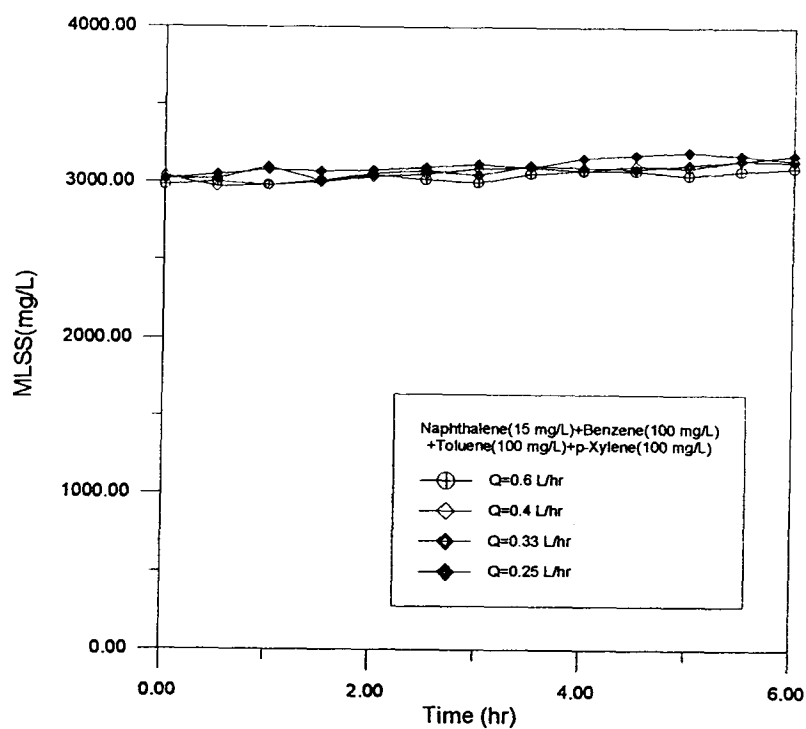


圖4-9-18 不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之MLSS變化情形

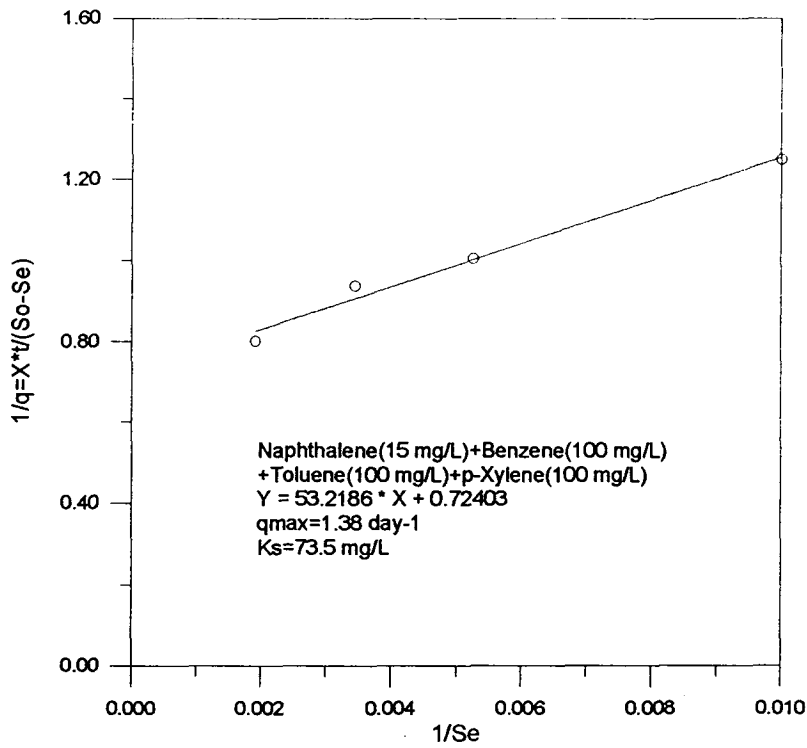


圖4-9-19 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)、苯(100 mg/L)、甲苯(100 mg/L)和對二甲苯(100 mg/L)有機廢水，利用公式2-5-14作  $\frac{tX}{S_o - S_e}$  vs.  $\frac{1}{S_e}$  圖，所求得活性污泥之  $q_{max}$  和  $K_s$  值。

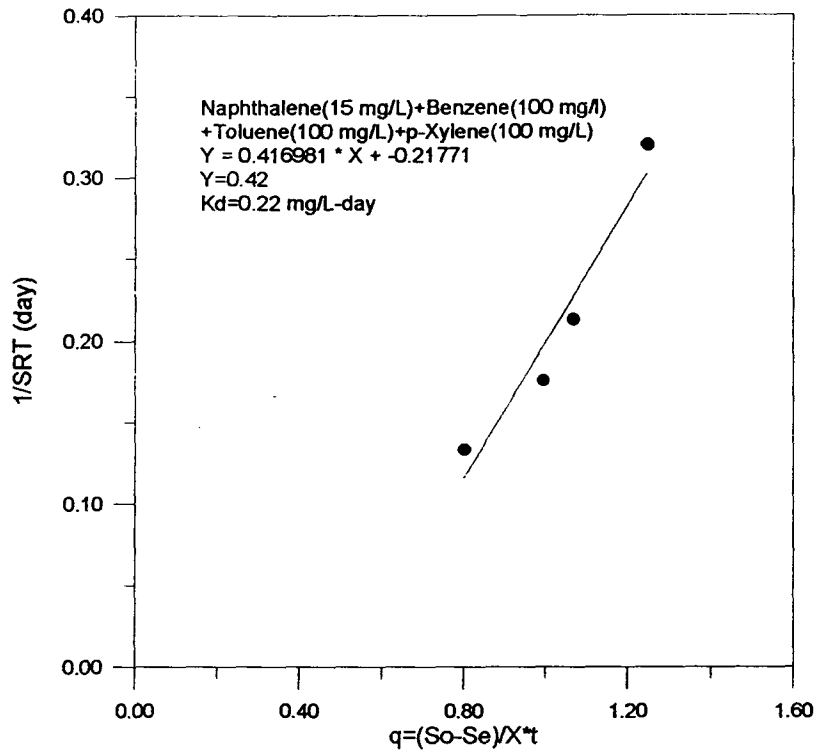


圖 4-9-20 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)、苯(100 mg/L)、甲苯(100 mg/L)和對二甲苯(100 mg/L)有機廢水中，利用公式 2-5-9 作  $\frac{1}{\theta_c}$  vs.  $q$  圖，所求得活性污泥之  $Y$  和  $K_d$  值。

將上述馴養污泥處理不同BTXN組成的生物反應動力學參數，整理如表4-9-1所示：

表4-9-1 馴養污泥處理不同BTXN組成的生物反應動力學參數

反應物	$\mu_{\max}$	$K_s$	$K_d$
only Glucose no BTXN	0.68	40.52	0.34
萘 (15 mg/L)	0.69	68.87	0.36
萘 (15 mg/L) + 苯 (100 mg/L)	0.99	98.06	0.52
萘 (15 mg/L) + 甲苯 (100 mg/L)	0.92	89.56	0.47
萘 (15 mg/L) + 對二甲苯 (100 mg/L)	0.74	81.41	0.33
萘 (15 mg/L) + 苯 (100 mg/L) + 甲苯 (100 mg/L)	0.61	60.08	0.29
萘 (15 mg/L) + 苯 (100 mg/L) + 甲苯 (100 mg/L) + 對二甲苯 (100 mg/L)	0.58	73.5	0.22

\*  $\mu_{\max} = Y \times q_{\max}$

單位： $\mu_{\max}$ ：day<sup>-1</sup>， $K_s$ ：mg/L， $K_d$ ：mg/L-day



根據實驗結果，馴養污泥處理萘（15 mg/L）時，並未有抑制作用產生，得到動力參數為  $\mu_{\max}=0.69 \text{ day}^{-1}$ 、 $K_s=68.87 \text{ mg/L}$ 和  $K_d=0.36 \text{ mg/L-hr}$ 。

當添加苯（100 mg/L）時，也未有抑制現象發生，且苯會幫助萘分解，使污泥之比生長速率（ $\mu_{\max}=0.99$ ）增加，這表示含萘（15 mg/L）和苯（100 mg/L）之有機廢水的總和毒性，並未對活性污泥產生抑制作用。

當添加甲苯（100 mg/L）時，也未有抑制現象發生，且甲苯會幫助萘分解，又使污泥之比生長速率（ $\mu_{\max}=0.92$ ）增加，因而可知此含萘（15 mg/L）和甲苯（100 mg/L）之有機廢水的總和毒性，並未對活性污泥產生抑制作用。

當添加對二甲苯（100 mg/L）時，會對稍微抑制萘之生物分解，由污泥之比生長速率值（ $\mu_{\max}=0.74$ ）知，此含萘（15 mg/L）和對二甲苯（100 mg/L）之有機廢水的總和毒性，較萘添加苯或甲苯時高，且由文獻<sup>(2)</sup>知對二甲苯不如苯或甲苯之易分解，因此添加對二甲苯於萘的有機廢水中所造成之污泥比生長率比苯或甲苯所提供之有機碳源所造成之污泥比生長率為低。

當同時添加苯（100 mg/L）和甲苯（100 mg/L）時，苯和甲苯皆會促使微生物先分解萘，但所得之污泥之比生長速率值（ $\mu_{\max}=0.61$ ）比不添加苯和甲苯時所得之污泥之比生長速率值小，這表示含萘（15 mg/L）、苯（100 mg/L）

和甲苯 (100 mg/L) 之有機廢水之總和毒性，會對活性污泥產生些許的抑制作用。

當同時添加苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 時，會使微生物分解萘之速率降低，有抑制萘生物分解之現象發生，而所求得之污泥之比生長速率值 ( $\mu_{\max}=0.58$ ) 亦較小，表示此含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 之有機廢水之總和毒性，對活性污泥產生較大的抑制作用。

## 第五章 結論與建議

### 5-1 結論

- 1、探討馴養污泥之最小滯留時間，以供其它實驗之操作依據，而由實驗結果得知，馴養活性污泥對萘之生物分解所得到之污泥最小滯留時間是 $\theta_c^M=1.47$  day。根據圖4-3-1可知控制污泥滯留時間在4 day以上時，馴養污泥對含之萘之揪廢水之除效果可達75%以上。
- 2、由實驗結果得知，除了原本的基質萘外，另外添加苯或甲苯時均會促使微生物分解萘之速率增加，同時添加苯和甲苯亦會有此現象，這個原因可能是苯或甲苯與萘之間有共代謝作用，因而易於分解之。但添加對二甲苯時，根據文獻<sup>(22)</sup>得知對二甲苯不如苯或甲苯之易分解，而由實驗結果亦可看出，對二甲苯會抑制萘之生物分解。當同時添加苯、甲苯和對二甲苯時，由實驗結果知，會抑制萘之生物分解，可知同時加入BTX時，產生抑制效果，即使廢水中含有苯和甲苯。在此我們將苯和甲苯歸納為有助於萘生物分解的基質，而對二甲苯為抑制萘生物分解的基質。
- 3、由實驗結果所得之生物反應動力參數值可知，除了基質萘(15 mg/L)，另外各自添加苯(100 mg/L)或甲苯(100

mg/L) 或對二甲苯 (100 mg/L) 時均會使馴養活性污泥之比生長速率增加，表示在此毒性濃度下，不會對微生物產生抑制作用，分解萘之速率會增加。但若同時添加苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 時或同時添加苯 (100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 時，會對微生物產生抑制作用，污泥之比生長速率會降低，此時之毒性濃度將高過污泥所能承受之最大負荷量。

- 4、將此CSTR實驗結果與SBR實驗結果<sup>(5)</sup>做一比較：得知以CSTR反應系統分解BTXN等有機廢水之效果比SBR分解BTXN等有機廢水之效果較低，原因可能是在同一水力停留時間內，CSTR反應系統中有機廢水與污泥之接觸時間不如SBR反應系統的長。

## 5-2 建議

- 1、在實驗過程中，此CSTR反應系統是以開放式系統進行生物處理反應，使得BTXN等環狀有機物的濃度會經曝氣作用及自然揮發而減少，而非是以污泥處理降解之，又此系統置於室溫下，無法做到完善之控制，建議將處理系統移入一穩定室溫下操作，並在處理具揮發性物質時，以密閉式系統處理之。
- 2、實驗時以人工操作之步驟非常多，因此容易造成實驗誤差，建議將實驗儀器改為自動控制，如利用定時器、蠕

動幫浦，自動進料，自動排泥，做一穩定之馴養控制，或在需作微量分析且分析量很多時，將實驗分析儀器改為自動取定量分析之與自動紀錄其值之方式。

## 第六章 參考文獻

- 1、陳國誠編著，“廢水生物處理學”，茂昌圖書有限公司，民國八十年
- 2、呂金泉著，“污水處理廠規劃設計及操作維護技術手冊”，曉園出版社有限公司，民國八十年
- 3、行政院環境保護署水質保護處，“甲級事業廢水管理訓練教材”，民國八十年
- 4、廖俊賢，“以活性污泥分解煉油廢水中苯、甲苯、對二甲苯和萘環狀有機物之研究”，東海大學化學工程研究碩士論文，民國八十五年
- 5、黃博亭，“以連續回分式活性污泥法（SBR）處理煉油廢水中苯、甲苯、對二甲苯和萘環狀有機物的研究”，東海大學化學工程研究碩士論文，民國八十五年
- 6、趙聖傑、盧至人、李季眉和杜彥寰，“BTEX共存時生物分解的基質效應研究”，第十九屆廢水處理技術研討會論文集民國八十三年
- 7、廖志鴻、盧至人、李季眉，“受苯及甲苯污染之地下水之現地生物復育—砂管柱模擬實驗”，第十八屆廢水處理技術研討會論文集民國八十二年
- 8、H. W. Clark and G.O. Adams ,Engineering Record, Feb (1912)
- 9、E.Ardenn and W.T.Lockett, “Experiment on the Oxidation of Sewage without the Aids of Filters”, J. Soc. Chem.

- Ind.,33 : 523 ( 1914 )
- 10 、 APHA Committee on Sewage Disposal, “The Operation and Control of Activated Sludge Sewage Treatment Works” ,Sewage Works. J.,14 : 3 ( 1942 )
  - 11 、 W.T. Lockett , “The Development of the Process Using Diffused Air, with Special Reference to the Manchester Pioneering Work” ,J. Proc. Inst. Sew. Purif., Part 3 ( 1954 )
  - 12 、 F.W. Mohlmann, “The Activated Sludge Method of Sewage Treatment” ,Water Survey Series,no.14, University of Illinois Bulletin,15 : 75 ( 1917 )
  - 13 、 R.H. Gould, “Operating Experiences in New York City” , Sewage Works.J.,14 : 70 ( 1942 )
  - 14 、 L.R .Setter , W.T. Carpenter and G.C. Winslow , “Principle Application of Principles of Modified Sewage Aera-tion” ,Sewage Works.J.,17 : 669 ( 1945 )
  - 15 、 L.S. Krauss, “The Use of Digested Sludge and Digester Overflow to Control Bulking Activated Sludge” ,Sew. Works. J.,17 : 1177 ( 1945 )
  - 16 、 A.H. Ullrich and M.W. Smith, “The Biosorption Process of Sewage and Waste Treatment” ,Sew. And Ind. Wastes,23 : 1248 ( 1951 )
  - 17 、 C. E. Cerniglia and D. T. Gibson , “Metabolism of naphthalene by *Cunninghamella elegans*” ,Applied and Environmental Microbiology ,34 : 363 ( 1977 ) .

- 18 、 B. E. Haiger , C.A. Pettigrew, and J. C. Spain ,  
“Biodegradation of Mixtures of Substituted Benzene by  
Pseudomonas sp. Strain JS150” , Applied and Environ-  
mental Microbiology ,58 : 2237 ( 1992 )
- 19 、 Jung-Jeng Su , “Biodegradation of Toluene and Xylene  
under Microaerophilic and Denitrifying Conditions by  
Pseudomonas Maltophilia” , New Jersey University, May  
( 1994 )
- 20 、 S. Aiba , M. Shoda and M. Nagatani , “Kinetics of  
Product Inhibition in Alcohol Fermentation” ,  
Biotechnology and Bioengineering ,11 : 845 ( 1969 )
- 21 、 Myung-Keun Chang, T. C. Voice, and C. S. Criddle ,  
“Kinetics of Competitive Inhibition and Cometabolism in  
the Biodegradation of Benzene, Toluene, and p-Xylene by  
Two Pseudomonas Isolates” , Biotechnology and  
Bioengineering ,41 : 1057 ( 1993 )
- 22 、 P. J. J. Alvarez and T. M. Vogel , “Substrate Inter-actions  
of Benzene, Toluene, and p-Xylene during Microbial  
Degradation by Pure Culture and Mixed Culture Aquifer  
Slurries” , Applied and Environmental Microbiology  
,57 : 2981 ( 1991 )
- 23 、 F. Volkering, A. M. Breure , A. Sterkenburg and J. G. van  
Andel , “Microbial Degradation of Polycyclic Aromatic  
Hydrocarbons Effect of Substrate Availability on Bacterial  
Growth Kinetics” , Applied Microbiology and Biotech-  
nology ,36 : 548 ( 1992 )



- 24 、 I. Wiesel, S. M. Wubker, and H. J. Rehm, “Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by an Immobilized Mixed Bacterial Culture” ,Applied Microbiology and Biotechnology ,39 : 110 ( 1993 )
- 25 、 J-Y Lee , J.-R. Roh, and H.-S. Kim , “Metabolic Engineering of Pseudomonas putida for the Simultaneous Biodegradation of Benzene, Toluene, and p-Xylene Mixture” ,Biotechnology and Bioengineering ,43 : 1146 ( 1994 )
- 26 、 Erik Aruin , B. K. Jensen, and A. T. Gundersen, “Substrate Interactions during Aerobic Biodegradation of Benzene” ,Applied and Environmental Microbiology ,55 : 3221 ( 1989 )
- 27 、 M. A. Warith, R. Fereehner, and L. Fernandes, “Biomediation of Organic Contaminated Soil” ,Hazardous Waste & Hazardous Materials, 9 : 137 ( 1992 )
- 28 、 R. Lloyd, “The toxicity of mixtures of zinc and copper sulphates to rainbow trout” ,Ann. applied and Biol., 49 : 535 ( 1961 )
- 29 、 V. M. Brown , “The calculation of the acute toxicity of mixtures of poisons to rainbow trout” ,Water Research.,2 : 723 ( 1968 )
- 30 、 D. L. Ford, “Toxicity Reduction : Evaluation and Control” , Water quality management library—volume3 : p.1 ( 1992 )
- 31 、 W. W. Eckenfelder , Petr Grau , “Activated Sludge Process Design and Control : theory and practice” ,

Water quality management library—volumel : p.167

( 1992 )

- 32 、 J. F. Andrews , “ A Mathematical Model for the Continuous Culture of Microorganisms Utilizing Inhibitory Substrates ” , *Biotechnology and Bioengineering* ,10 : 707 ( 1968 )
- 33 、 Derin Orhon and Nazik Artan , “ Modelling of Activated Sludge Systems ” , *Technomic Publishing Company ,Inc.* , p.131 ( 1994 )
- 34 、 S. Aiba , M. Shoda and M.Nagatani , “ Kinetics of Product Inhibition in Alcohol Fermentaton ” , *Biotechnology and Bioengineering* ,11 : 845 ( 1969 )
- 35 、 J.Y.C Huang and Meng-Dheng , “ Measurement and new applications of oxygen uptake rates in actived sludge processes ” , *Journal Water Pollution Control Fed.* , 56 : 259 ( 1985 )
- 36 、 W. W. Eckenfelder, “ Introduction to Wastewater Treatment Processes ” , *Second Edition* ( 1991 )
- 37 、 Metcalf and Eddy, “ Wastewater Engineering ” , *McGraw-Hill ,Inc.* , *Third Edition* ( 1991 )
- 38 、 J. E. Balley and D. F. Ollis , “ Biochemical Engineering Fundamentals ” , *McGraw-Hill,Inc.* ( 1977 )

## 附 錄

A-1 在不同流速下，BTXN之微生物分解實驗結果----	104
A-2 馴養污泥對萘（15 mg/L）之攝氧情形-----	123

### 表目錄

表A-1 馴養污泥之耗氧參數a,b-----	122
------------------------	-----

### 圖目錄

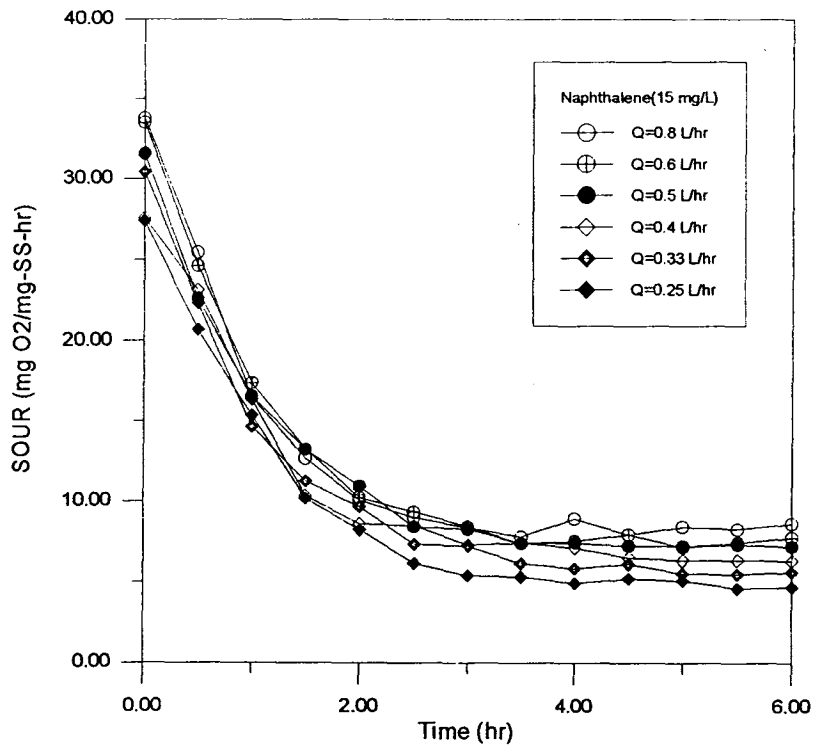
圖A-1-1 在不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）之有機廢水之SOUR變化情形-----	104
圖A-1-2 以活性污泥分解含萘（15 mg/L）之有機廢水中，利用公式A 作 $SOUR$ vs. $q = \frac{S_0 - S_e}{X t}$ 圖，所求得活性污泥之a,b值 -----	105
圖A-1-3 在不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）之有機廢水之萘之分解情形-----	106
圖A-1-4 不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）和苯（100 mg/L）之有機廢水過程中之SOUR變化情形-----	107
圖A-1-5 以活性污泥分解含萘（15 mg/L）和苯（100 mg/L）之有機廢水中，利用公式A 作 $SOUR$ vs. $q = \frac{S_0 - S_e}{X t}$ 圖，所求得活性污泥之a,b值 -----	108
圖A-1-6 在不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）和苯（100 mg/L）之有機廢水之萘之分解情形--	109

- 圖 A-1-7 不同流速下，馴養污泥分解含萘（15 mg/L）和甲苯（100 mg/L）有機廢水過程中之SOUR變化情形-----110
- 圖 A-1-8 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)和甲苯(100 mg/L)之有機廢水中，利用公式A 作  $SOUR$  vs.  $q = \frac{S_o - S_e}{X t}$  圖，所求得活性污泥之a,b值-----111
- 圖 A-1-9 在不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）和甲苯（100 mg/L）之有機廢水之萘之分解情形-----112
- 圖 A-1-10 不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）和對二甲苯（100 mg/L）有機廢水過程中之SOUR變化情形-----113
- 圖 A-1-11 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)和對二甲苯(100 mg/L)之有機廢水中，利用公式A 作  $SOUR$  vs.  $q = \frac{S_o - S_e}{X t}$  圖，所求得活性污泥之a,b值 -----114
- 圖 A-1-12 在不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）和對二甲苯（100 mg/L）之有機廢水之萘之分解情形-----115
- 圖 A-1-13 不同流速下，馴養污泥分解含萘（15 mg/L）、苯（100 mg/L）和甲苯（100 mg/L）有機廢水過程中之SOUR變化情形-----116
- 圖 A-1-14 以活性污泥分解含萘（15 mg/L）苯（100 mg/L）和甲苯（100 mg/L）之有機廢水中，利用公式A 作  $SOUR$  vs.  $q = \frac{S_o - S_e}{X t}$  圖，所求得活性污泥之a,b

	值 -----	117
圖 A-1-15	在不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L)、 苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 之有機廢水 之萘之分解情形 -----	118
圖 A-1-16	不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L)、 苯 (100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之 SOUR 變化情 形 -----	119
圖 A-1-17	以活性污泥分解含萘 (15 mg/L) 苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 之 有機廢水中，利用公式 A 作 $SOUR$ vs. $q = \frac{S_0 - S_e}{X t}$ 圖，所求得活性污泥之 a, b 值 -----	120
圖 A-1-18	在不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L)、 苯 (100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 之有機廢水之萘之分解情形 ----	121
圖 A-2-1	在 F/M=0.08 下，馴養污泥分解純基質萘之攝氧情 形 -----	123
圖 A-2-2	在 F/M=0.1 下，馴養污泥分解純基質萘之攝氧情 形 -----	124
圖 A-2-3	在 F/M=0.2 下，馴養污泥分解純基質萘之攝氧情 形 -----	125
圖 A-2-4	在 F/M=0.3 下，馴養污泥分解純基質萘之攝氧情 形 -----	126
圖 A-2-5	馴養污泥之攝氧率與 F/M 之關係 -----	127

A-1 在不同流速下，BTXN之微生物分解實驗結果

1. 萘 ( 15 mg/L ) 時，生物分解之 SOUR 實驗結果及萘之分解情形



圖A-1-1 在不同流速下，馴養污泥處理含萘 ( 15 mg/L ) 之有機廢水之SOUR變化情形

利用公式  $SOUR = \frac{OUR}{X} = a \frac{S_o - S_e}{X t} + b$

作  $SOUR$  vs.  $q = \frac{S_o - S_e}{X t}$  圖，求得 a, b 之耗氧參數 (式 A)

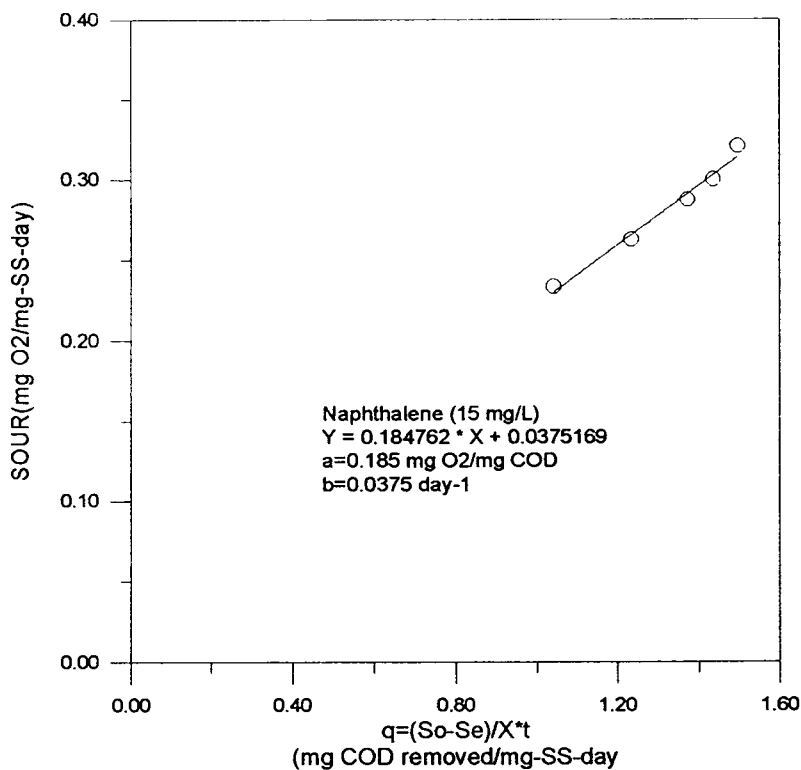
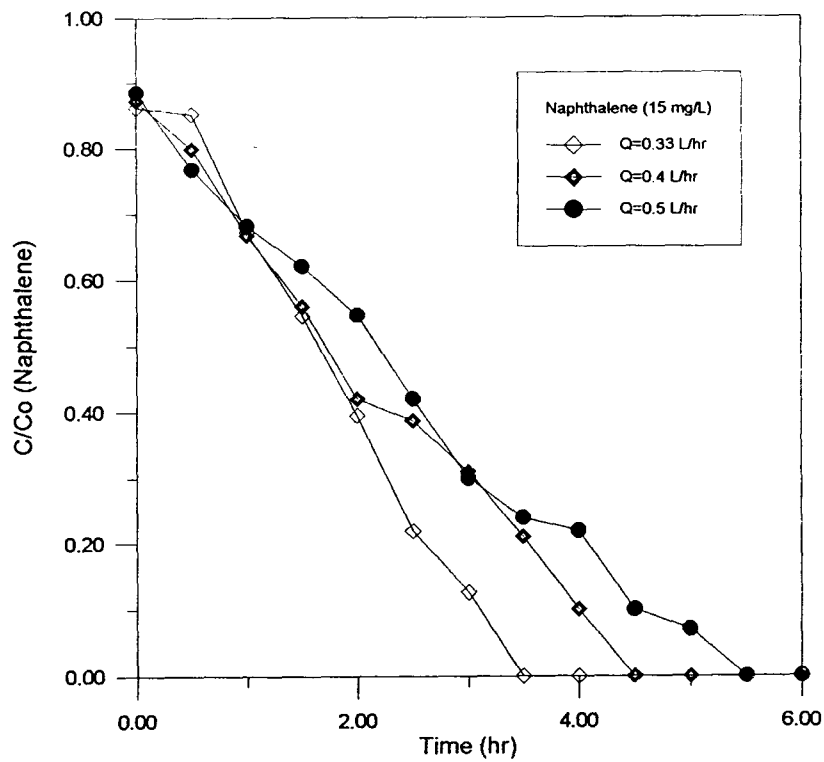


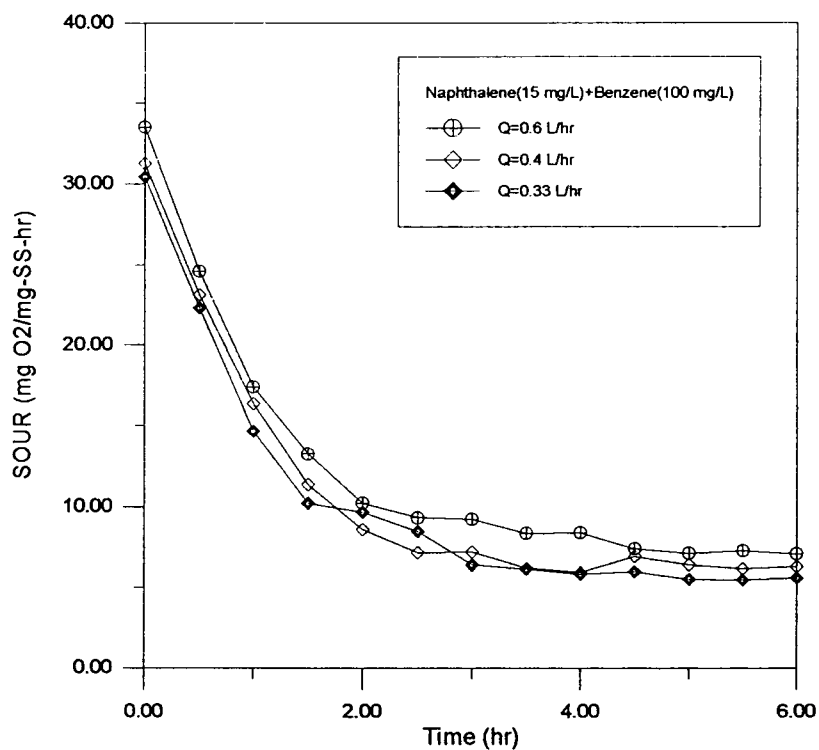
圖 A-1-2 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L) 之有機廢水中，  
利用公式 A 作  $SOUR$  vs.  $q = \frac{S_o - S_e}{X t}$  圖，所求得活性  
污泥之 a, b 值



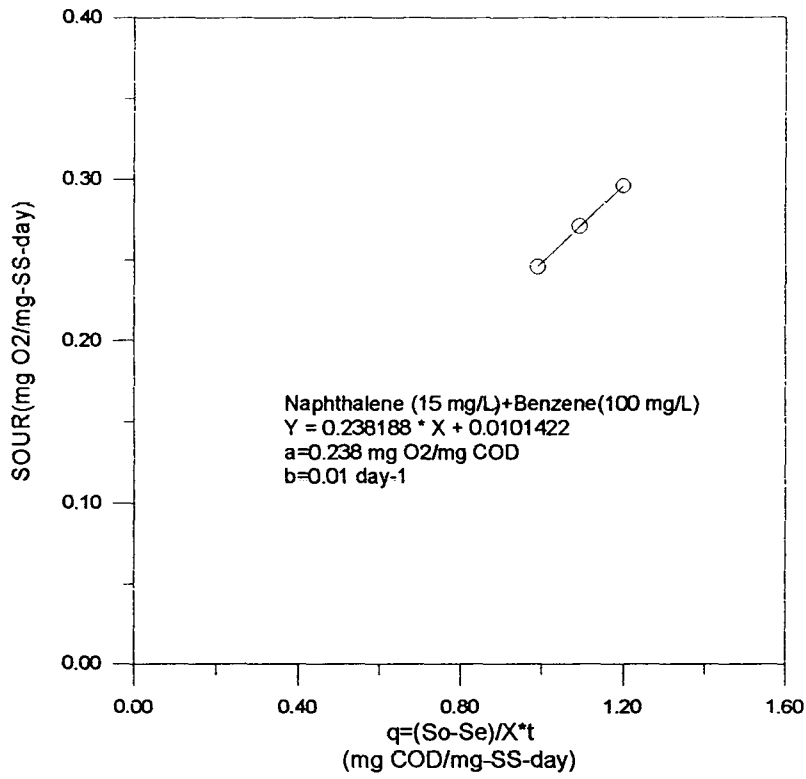
圖A-1-3 在不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L) 之有機廢水之萘之分解情形



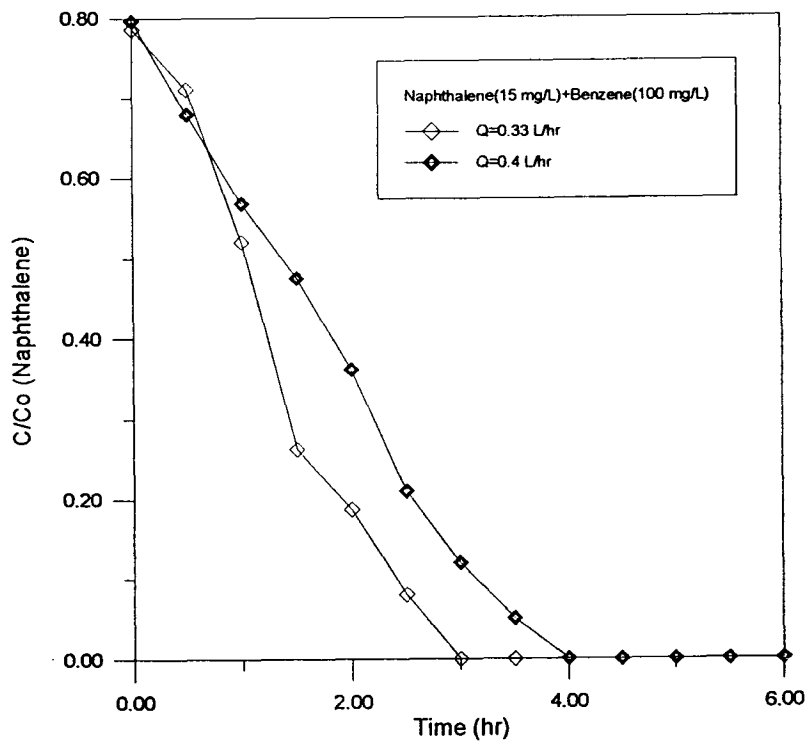
2. 萘 (15 mg/L) 添加苯 (100 mg/L) 時，生物分解之SOUR  
實驗結果及萘之分解情形



圖A-1-4 不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L) 和苯 (100 mg/L) 之有機廢水過程中之SOUR變化情形



圖A-1-5 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L) 和苯 (100 mg/L) 之有機廢水中，利用公式A 作  $SOUR \text{ vs. } q = \frac{S_o - S_e}{X t}$  圖，所求得活性污泥之a,b值



圖A-1-6 在不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）和苯（100 mg/L）之有機廢水之萘之分解情形

3. 萘 (15 mg/L) 添加甲苯 (100 mg/L) 時，生物分解之 SOUR  
實驗結果及萘之分解情形

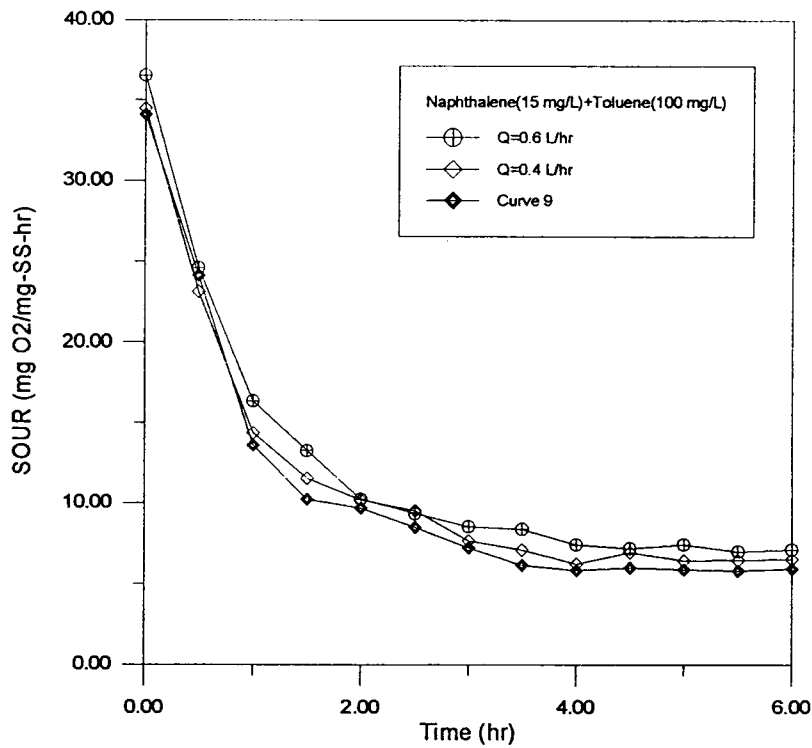
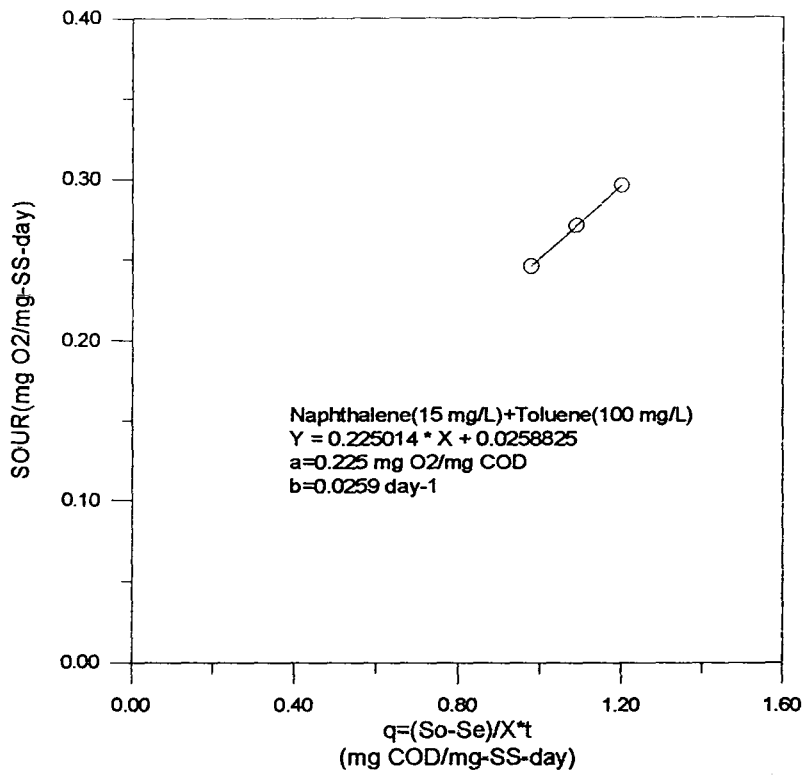
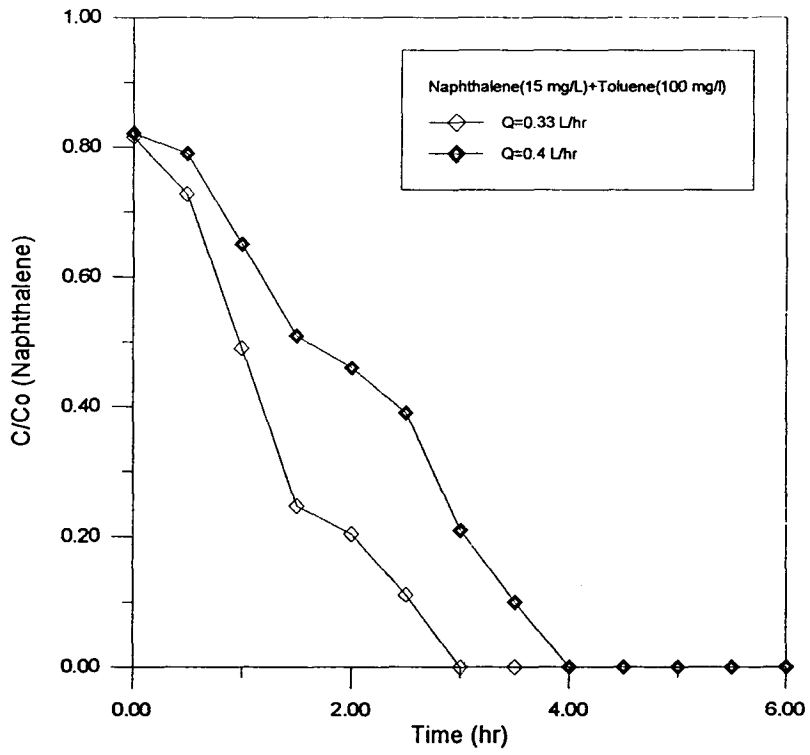


圖 A-1-7 不同流速下，馴養污泥分解含萘 (15 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之 SOUR 變化情形

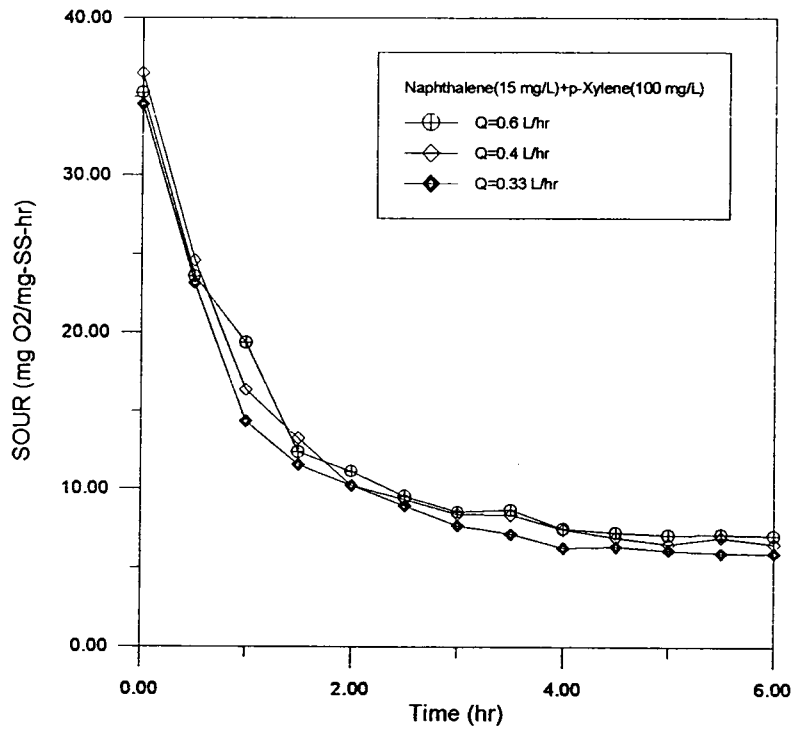


圖A-1-8 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)和甲苯(100 mg/L)之有機廢水中，利用公式A 作  $SOUR$  vs.  $q = \frac{S_o - S_e}{X t}$  圖，所求得活性污泥之a,b值



圖A-1-9 在不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）和  
甲苯（100 mg/L）之有機廢水之萘之分解情形

4. 萘 (15 mg/L) 添加對二甲苯 (100 mg/L) 時，生物分解之SOUR實驗結果及萘之分解情形



圖A-1-10 不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之SOUR變化情形

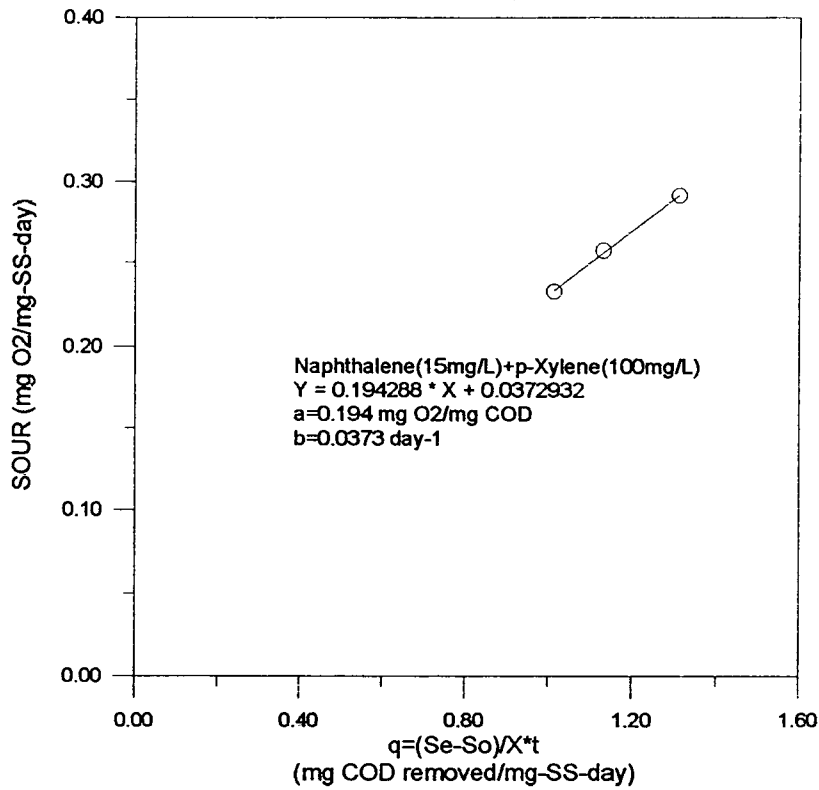
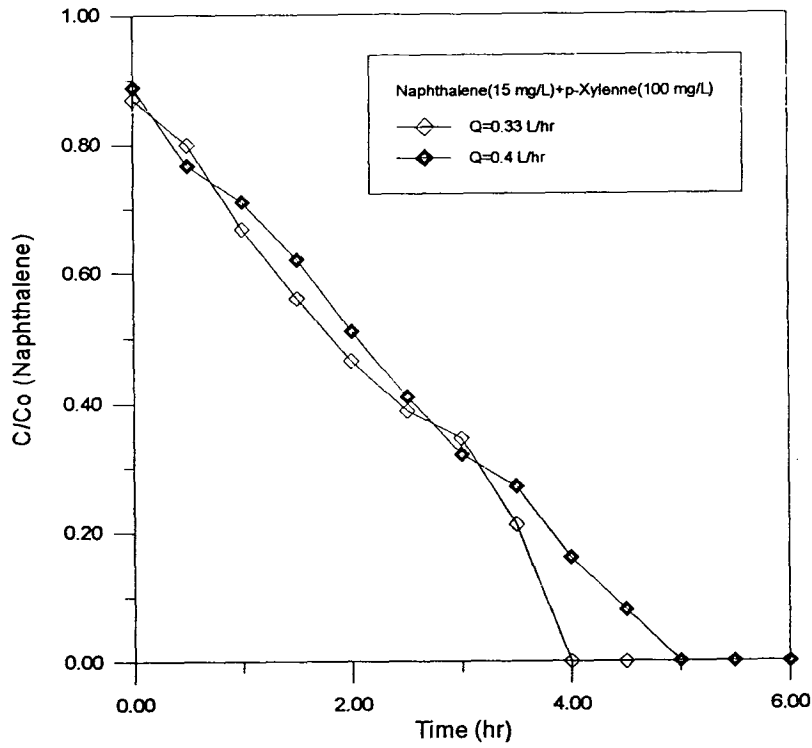


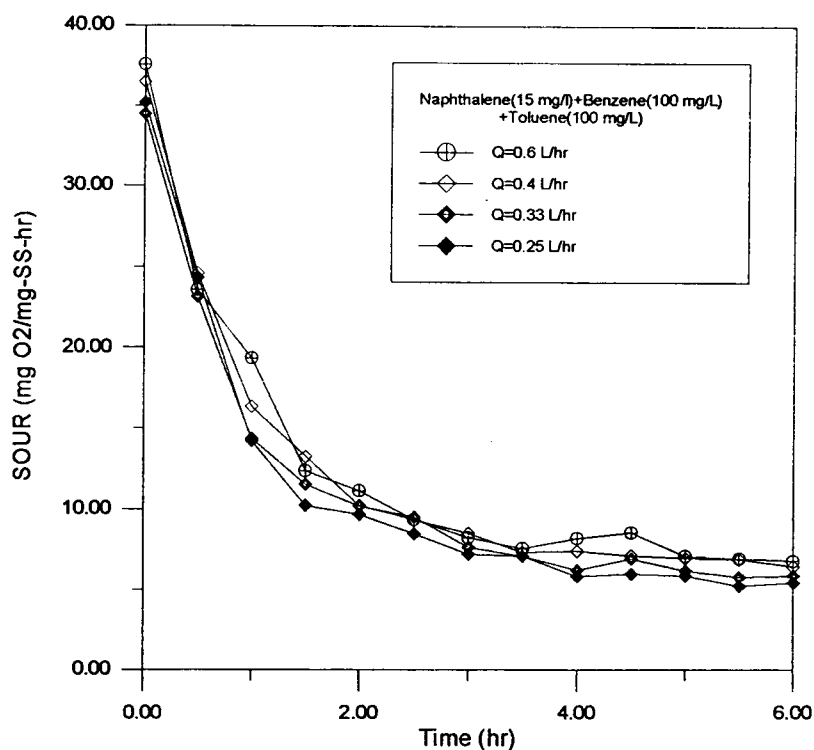
圖 A-1-11 以活性污泥分解含萘(15 mg/L)和對二甲苯(100 mg/L)之有機廢水中，利用公式A 作 *SOUR* vs.  $q = \frac{S_o - S_e}{X t}$  圖，所求得活性污泥之a,b值



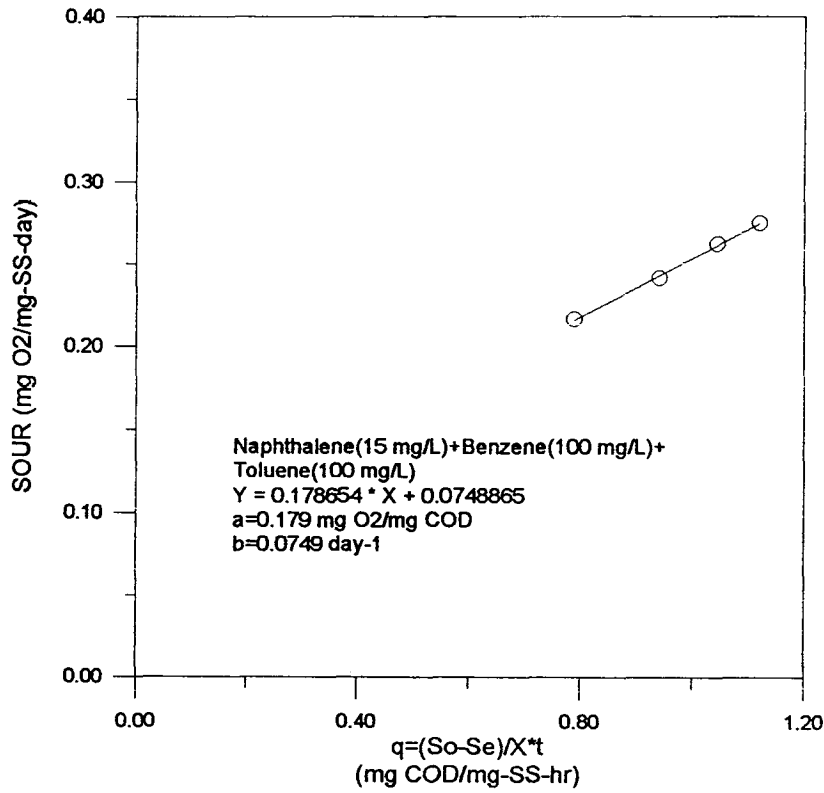


圖A-1-12 在不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 之有機廢水之萘之分解情形

5. 萘 (15 mg/L) 添加苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 時，生物分解之SOUR實驗結果及萘之分解情形



圖A-1-13 不同流速下，馴養污泥分解含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之SOUR變化情形



圖A-1-14 以活性污泥分解含萘（15 mg/L）苯（100 mg/L）和甲苯（100 mg/L）之有機廢水中，利用公式A作  $SOUR$  vs.  $q = \frac{S_o - S_e}{X t}$  圖，所求得活性污泥之a,b值

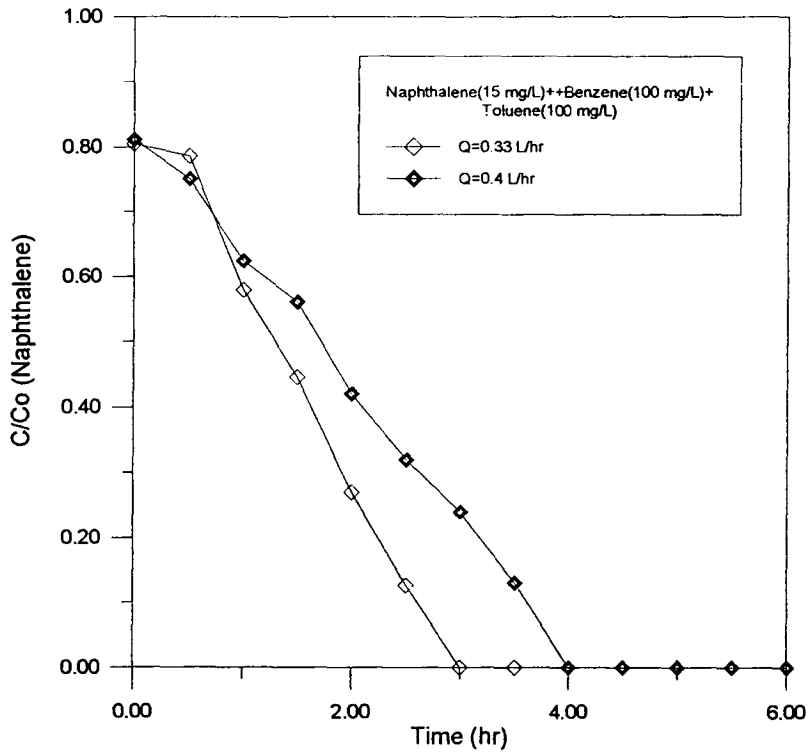
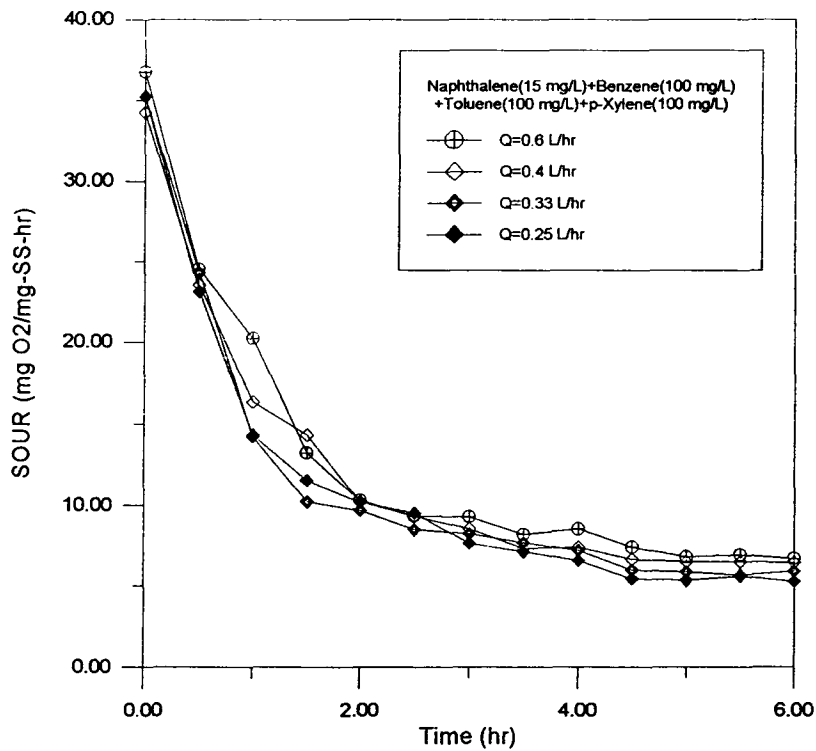
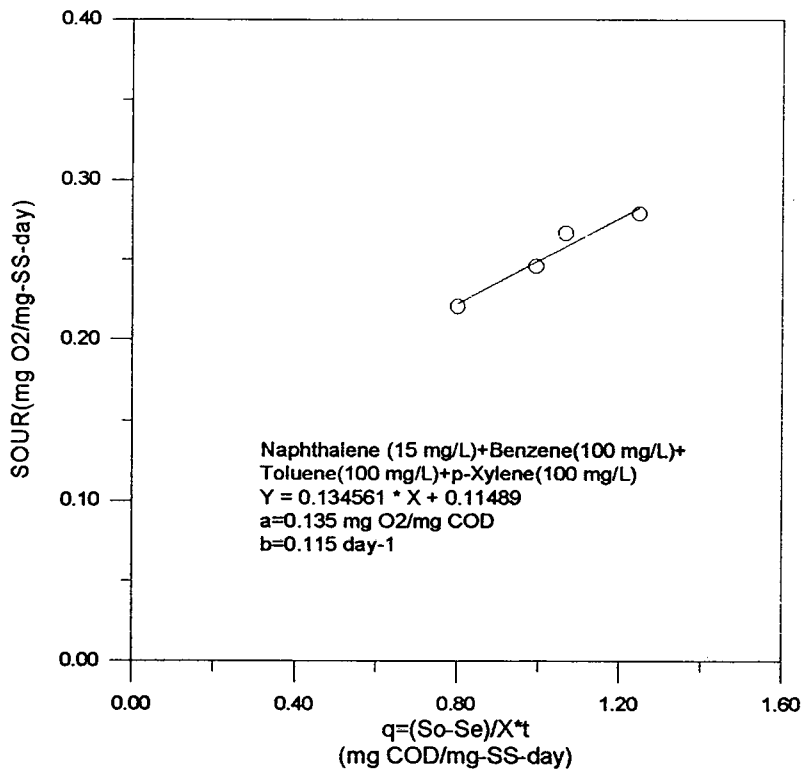


圖 A-1-15 在不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 之有機廢水之萘之分解情形

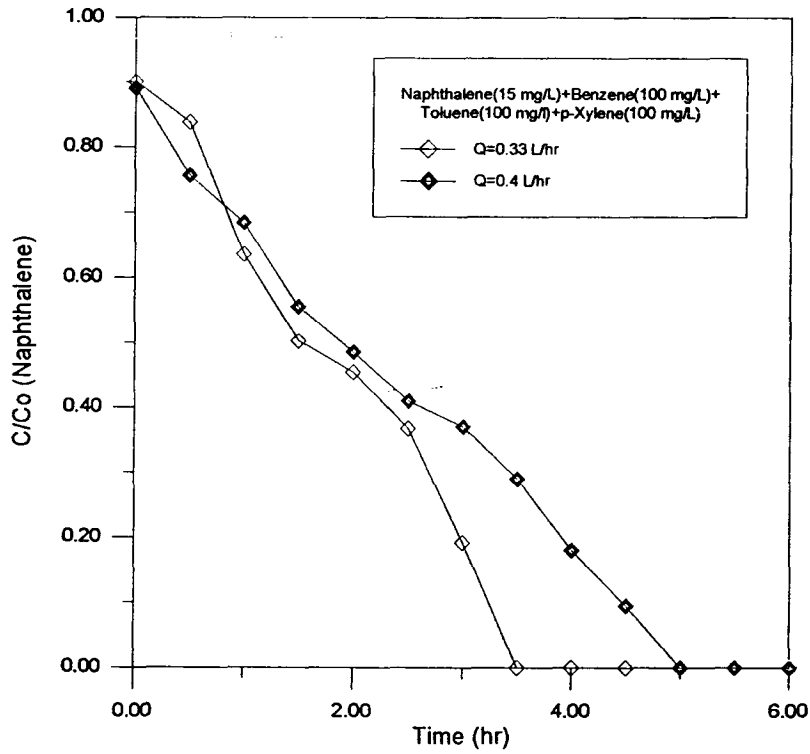
6. 萘 (15 mg/L) 添加苯 (100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 時，生物分解之SOUR實驗結果及萘之分解情形



圖A-1-16 不同流速下，馴養污泥處理含萘 (15 mg/L)、苯 (100 mg/L)、甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 有機廢水過程中之SOUR變化情形



圖A-1-17 以活性污泥分解含萘 (15 mg/L) 苯 (100 mg/L) 和甲苯 (100 mg/L) 和對二甲苯 (100 mg/L) 之有機廢水中，利用公式A作  $SOUR$  vs.  $q = \frac{S_o - S_e}{X t}$  圖，所求得活性污泥之a,b值



圖A-1-18 在不同流速下，馴養污泥處理含萘（15 mg/L）、  
苯（100 mg/L）、甲苯（100 mg/L）和對二甲苯  
（100 mg/L）之有機廢水之萘之分解情形

將所求得之馴養污泥之耗氧參數，整理如表A-1

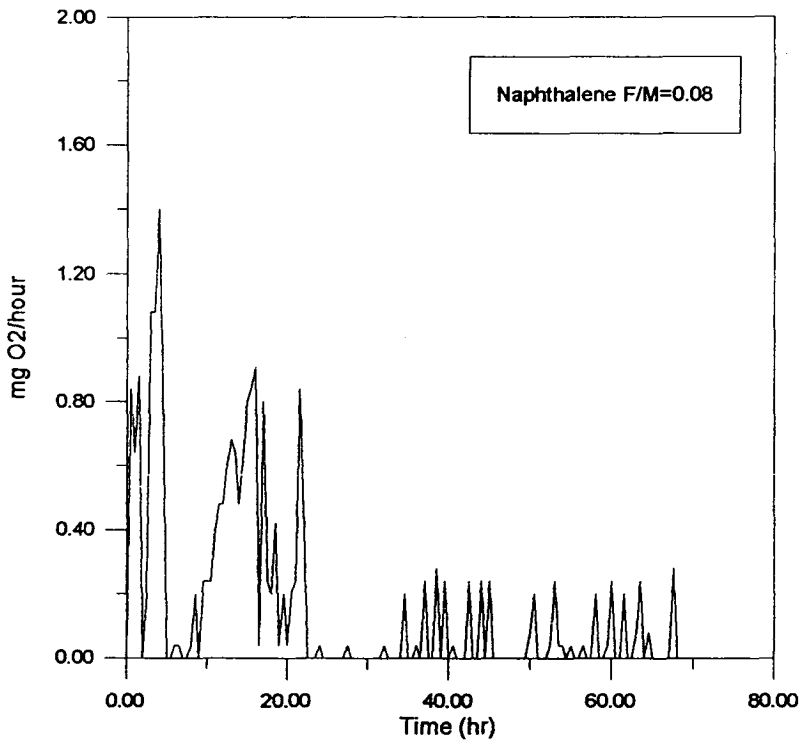
表A-1 馴養污泥之耗氧參數a,b

反應物	a (mg O <sub>2</sub> /mg COD)	b (day <sup>-1</sup> )
萘 (15 mg/L)	0.185	0.0375
萘 (15 mg/L) + 苯 (100 mg/L)	0.238	0.0101
萘 (15 mg/L) + 甲苯 (100 mg/L)	0.225	0.0259
萘 (15 mg/L) + 對二甲苯 (100 mg/L)	0.194	0.0373
萘 (15 mg/L) + 苯 (100 mg/L) + 甲苯 (100 mg/L)	0.179	0.0749
萘 (15 mg/L) + 苯 (100 mg/L) + 甲苯 (100 mg/L) + 對二甲苯 (100 mg/L)	0.135	0.115



## A-2 馴養污泥對萘 (15 mg/L) 之攝氧情形

由溶氧呼吸儀可找出最小基質之效應和最大有機負荷值，本實驗是用純萘之基質而不添加Glucose或BTXN。列出萘之溶氧呼吸情形及馴養污泥攝氧率與F/M之關係。



圖A-2-1 在F/M=0.08下，馴養污泥分解純基質萘之攝氧情形

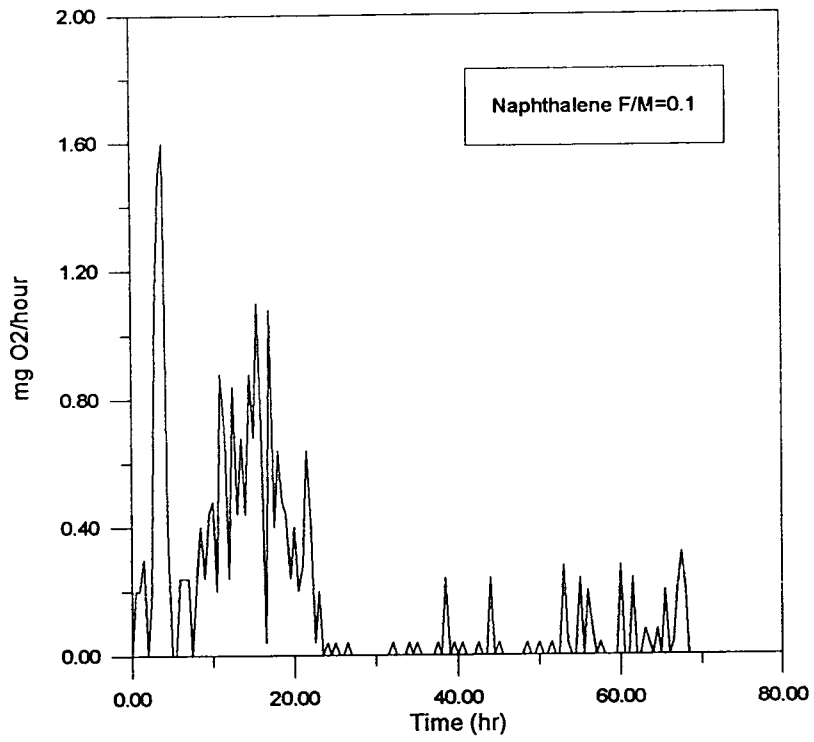


圖 A-2-2 在  $F/M=0.1$  下，馴養污泥分解純基質萘之攝氧情形

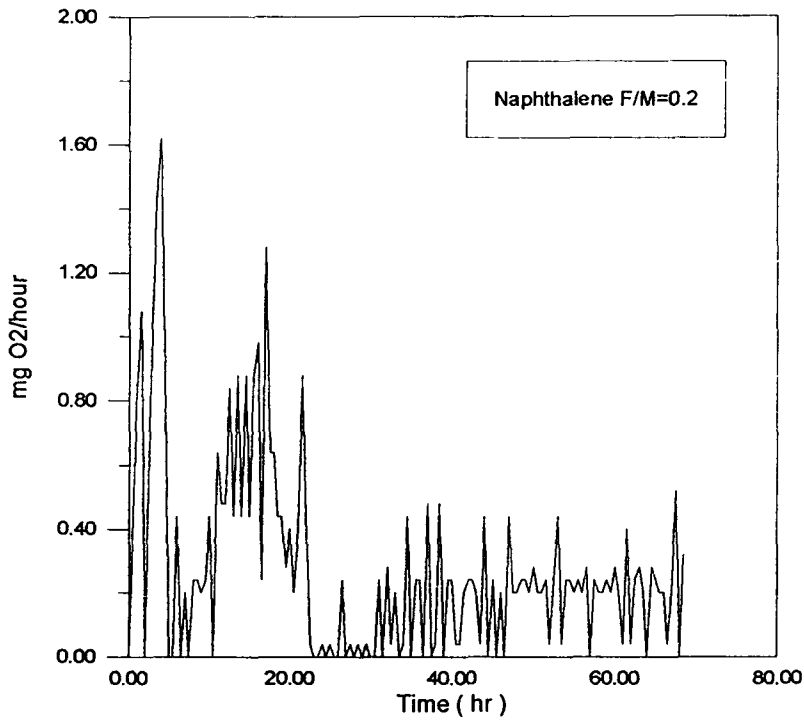


圖 A-2-3 在  $F/M=0.2$  下，馴養污泥分解純基質萘之攝氧情形

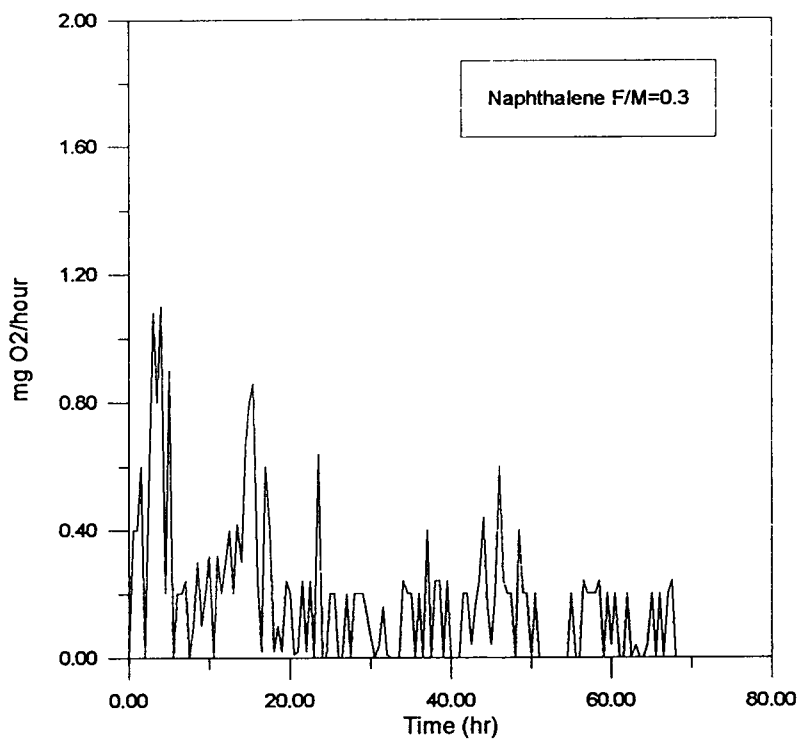


圖 A-2-4 在F/M=0.3下，馴養污泥分解純基質萘之攝氧情形

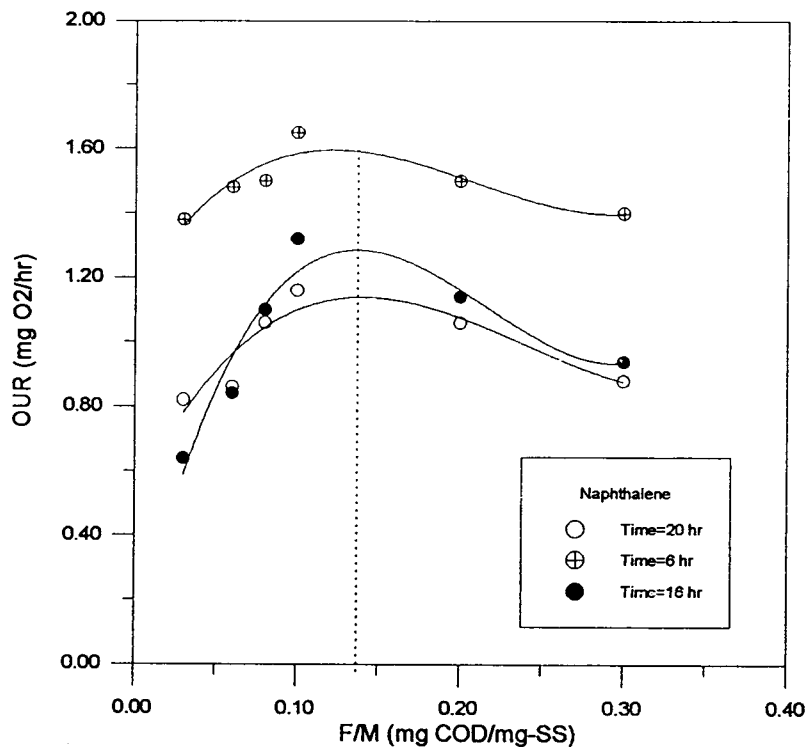


圖 A-2-5 馴養污泥之攝氧率與 F/M 之關係

由此圖可看出，馴養污泥之攝氧率隨著 F/M 上升而增加，但到了 F/M=0.14 之後攝氧率便開始下降，表示馴養污泥之最大有機負荷值為 0.14，超過此值後，基質即會對污泥產生抑制行為，使污泥之攝氧率下降。