

## 水污染防治

# 石油廢水中萘存在對於苯、甲苯、對二甲苯 活性污泥處理之影響

謝建元\* 廖俊賢\*\* 張有義\*\*\*

## 摘要

活性污泥經過馴養之後，對於苯、甲苯、對二甲苯和萘的分解的情形，與未馴養污泥比較，會有顯著的不同。未馴養之活性污泥對不同濃度的苯、甲苯、對二甲苯和萘的分解情形，在濃度60g/L至80g/L時，分解速度最佳；甲苯和對二甲苯則在100g/L(實驗的最高濃度)；萘在10g/L的分解效果較50g/L和60g/L佳。共存基質下，活性污泥對苯、甲苯、對二甲苯和萘分解速率其順序為甲苯>對二甲苯>苯>萘。相較於非馴養污泥，馴養污泥有較高的苯、甲苯、對二甲苯、萘分解的速率。

### 【關鍵字】

1. 苯(benzene)
2. 甲苯(toluene)
3. 對二甲苯(xylene)
4. 萘(naphthalene)
5. 污泥馴養(sludge incubation)
6. 生物分解(biodegradation)

\*東海大學化工系博士後研究員

\*\*東海大學化工系碩士班研究生

\*\*\*東海大學化工系教授

## 一、前　　言

### 1.1 造成污染問題

苯(benzene)、甲苯(toluene)、對二甲苯(xylene)、萘(naphthalene)都是石化工業中的重要原料，而在石油廢水中常可發現含有此類有機物質。若不經處理直接排放到自然界中，將會對自然界生物產生嚴重影響。苯、甲苯、對二甲苯和萘排入水體中之後，魚類吸收這類有機物質會有明顯毒害的現象，而經由食物鏈不慎食用這些魚類，便會對人體健康造成嚴重的傷害。另一方面，這些有機物質的廢水排入土壤中，其中一部份會殘留在土壤內，而另一部份則會經逕流作用而污染地下水，並藉由物質循環影響到其它生態系統。故解決石化工業廢水中苯(B)、甲苯(T)、對二甲苯(X)和萘(N)所造成的污染問題，為刻不容緩。

以生物轉換的方式來處理環境污染物質，除了可避免其他方法產生的二次污染問題，另外也可達到真正的「廢物利用」。在處理工業廢水中，以生物性之活性污泥法為有效的方法之一，其主要優點乃在於快速的好氧性分解速率及操作上沒有雜菌污染的問題，其它的優點還包括污泥取得容易、活性污泥的參考指標如懸浮固體量、S.V.I.值…等較容易測得、其生長範圍較接近然的環境，故方便於控制。

在一般情況下，生物分解多種基質共同存在時，尤其是本身具有毒性的有機物會有幾種的代謝情形產生如二次成長(diauxie growth)、共代謝(cometabolite)、生物轉換(biotransformation)、和競爭型的抑制行為(competitive inhibition)等複雜的代謝情形。活性污泥經適當的馴養後，可大幅提高其對特定有機物的容忍程序和分解效率，進而縮短反應時間，減少反應槽體的須求。在另一方面，以較短的時間完成分解此類揮發物質也可以減少由曝氣造成的空氣污染。

一般混合菌種經馴養之後，對苯、甲苯、對二甲苯的適應能力往往大於一菌種，而有較短的適應期(perdro J. J.Alvarez<sup>(8)</sup>等人)，苯、甲苯、對二甲苯混合下基質交互作用，以微生物（取自於泥壤）對有毒基質的適應期(lagphase)作

比較，苯、甲苯的分解速率最快，而對二甲苯的分解最慢。在苯、甲苯、對二甲苯和萘的生物分解性方面，由於不同的污泥來源，其中所含的微生物菌種不同的，而有不同的分解效果。例如單一菌種*Pseudomonas fragi Strain BI*能分解苯和甲苯而不分解對二甲苯；而*Pseudomonas fluores Strain XI*能分解甲苯和對二甲苯而不分解苯( Myung-Keun Chang,7)。分解這類有機物質的順序和分解速率也會隨著菌種的不同而有不同。當一污泥含有二種菌的存在下，苯、甲苯、對二甲苯的分解順序會決定於此兩種菌種的混合比例。在混合菌種(mixed culture)中，苯、甲苯和對二甲苯的分解順序決定於菌種的混合情形。BTX共存的分解基質效應中，取自於受油品污染的土壤菌，經BTX馴養之後，對於BTX的分解順序為甲苯>苯>對二甲苯(趙聖傑<sup>(1)</sup>等人，1994)。

對於石油廢水中有機物的處理，大部份的研究都是苯、甲苯和對二甲苯，而萘的處理方面，和萘存在對其他有機物分解所造成的影响則較少。萘以批式培養(batch culture)的操作，200mg/L的萘為起始濃度（用acetone做為界面活性劑），混合菌種(mixed culture)進行生物分解，所需反應的時間約為2天(I.Wiesel<sup>(10)</sup>等人)。另外在共存基質下，以濃度1mg/L的苯，1.5mg/L的苯，3.0mg/L的對二甲苯的水溶液，以單一菌種*Pseudomonas putida*在批式反應器中進行有機物生物分解，所需的反應時間為30~35小時(Jang-Young Lee<sup>(11)</sup>等人)。Pedro J.J. Alvare<sup>(12)</sup>等人以單一菌種來探討不同濃度的甲苯對苯生物分解的情形，對苯的分解效率而言，當0.5mg/L的甲苯存在時比不添加和添加0.1mg/L的甲苯來看好。但其最好的處理也需兩天的時間。

## 二、研究目的

本研究目的是藉由活性污泥馴養方式，來改進污泥對煉油廢水中苯、甲苯、對二甲苯和萘的分解效果，並且探討(a)污泥在單一基質下，上述四種物質在不同濃度時比較經污泥馴養前後的分速率。(b)比較污泥馴養前後對苯、甲苯、對二甲苯和萘的分解順序。(c)在共基質效應下比較污泥馴養前後萘的存在對苯、甲苯、對二甲苯分解的影響。

### 三、實驗材料和儀器

#### 3.1 材料

##### 1. 污泥來源

活性污泥取自於台中工業區廢水處理廠所排放的污泥，以污泥培養基加以培養。污泥的培養基含  $K_2HPO_4$  1.1(g/L), Peptone 66.7(g/L),  $KH_2PO_4$  1.6(g/L),  $NH_4Cl$  2.1(g/L), 葡萄糖 33.3(g/L),  $N_2HPO_4 \times 7H_2O$  4.2(g/L)，每天加 100mL 的培養基污泥槽中(含 8.7 公升活性污泥)。菌種馴養鹽類的成份： $K_2HPO_4$  1.73(g/L),  $CaCl_2 \times 2H_2O$  0.01(g/L),  $KH_2PO_4$  0.68(g/L),  $MnSO_4 \times H_2O$  0.003(g/L),  $NH_4Cl$  1.0(g/L),  $FeSO_4 \times 7H_2O$  0.005(g/L),  $MgSO_4 \times 7H_2O$  0.1(g/L), EDTA  $\times 2H_2O$  0.002(g/L)。

##### 2. 材料

本實驗所用之材料，包括無機鹽類、有機物： $KH_2PO_4$ 、 $K_2HPO_4$ 、 $MgSO_4 \times 7H_2O$ 、 $NH_4Cl$ (一級試藥、固態、純度在 98.5% 以上、聯工化學廠出品)。苯( $C_6H_6$ , b.p. 80.1, m.w. 79.12)、甲苯( $C_7H_8$ , b.p. 110.8, m.w. 100.2)、對二甲苯( $C_8H_{10}$ , b.p. 218, m.w. 112.2)、( $C_{10}H_8$ , b.p. 218, m.w. 136.2)為特級試藥，其純度在 99% 以上、葡萄糖(一級試藥、固態、純度在 99% 以上、林純藥工業株式會社出品)。

##### 3. 實驗儀器與設備

氣相分析儀(GC-144, Shimadzu)，積分器(C-R6A, Shimadzu)，振盪培養器(G-24，健鑫)，溶氧測定儀(YSI-50B，巨多)，離心機(Z-252M，大成)高溫熱解爐(mn-525)，活性污泥樣(AS-10，巨多)，烘箱(RHD-453，大成)。

#### 3.2 實驗方法

##### 1. 污泥馴養(Enrichment)

有關於污泥馴養的方式，參照 Richard Udall Ednill<sup>(14)</sup>研究五氯酚(PCP)的微生物分解的馴養方式，在 1 公升的三角瓶中放入 500ml 菌種馴養鹽類，置於 G-24 的振盪培養器(G-24 Enviromental Incubation Shaker)中，控制振盪頻率在 200rpm，溫度在 30°C 下培養，並且每 12 小時添加菌種馴養鹽類。利用四種不的碳源(第一種基質為 McCloskey "Rott Fyter"、第二種基質為  $NaC_2H_3O_2$ 、

## 28 石油廢水中萘存在對於苯、甲苯、對二甲苯活性污泥處理之影響

3H<sub>2</sub>O和McCloskey "Rott Fyter"、第三種基質為的葡萄糖和McCloskey "Rott Fyter"、第四種基質為100g/L的五氯酚)，作三種不同方式的馴養，發現在此三種馴養的方式中，採用階段式馴養的方法時，泥對有毒基質的適應期最短。本研究乃採逐次馴養方式，馴養的方法可分為下列五個階段：第一階段：改變無機鹽類，而碳源不變。第二階段：減少原碳源1/4，增加苯、甲苯、對二甲苯、萘各至5g/L。第三階段：減少原碳源1/2，增加苯、甲苯、對二甲苯、萘各至10g/L。第四階段：減少原碳源3/4，增加苯、甲苯、對二甲苯、萘各至15g/L。第五階段：不加碳源，增加苯、甲苯、對二甲苯、萘各至20g/L。

### 2.BTXN生物分解

從污泥槽中取適當的污泥量（馴養污泥取45mL，未馴養污泥取80m），靜置30分鐘後，將上層澄清液去掉。加入菌種馴養鹽類和碳源。碳源部份，使用單一碳源和混合碳源，在單一碳源為苯和甲苯加入40、60、80、100mg/L，對二甲苯加入60、80、100mg/L，而萘則加入40、50、60mg/L。在混合碳源分為兩個物質的混合物(40g/L和60g/L的混合)、三個物質的混合(均為40g/L的混合)和四個物質的混合物(均為30g/L和40g/L的混合)等方式。在200rpm的振盪培養器下做振盪培養。培養0,2,4,8,12,24小時取樣測量機物之殘留濃度。污泥(含污泥和其水溶液)取樣後二氯甲烷進行萃取。萃取8小時後，取出置入離心管，在600rpm下離心10分鐘。離心後取有機層溶液(上層溶液為水層，下層溶液為有機層)，以減壓濃縮使二氯甲烷揮發，再殘餘物質溶於正己烷，以氣相層析儀分析有機物質濃度。空白實驗則從污泥槽中的污泥量，將上層澄清液去掉。經殺菌斧(Autoclave)滅菌後，重複上述步驟。

### 3.MLSS&MLVSS

將分解實驗中所取樣的10mL樣品，放入已稱重後的空鋁鉑(a值)內。放入103°C的烘箱，烘乾一天，稱重(b值)。MLSS = (b值 - a值) / 體積，即為MLSS值。將烘乾一天後的鋁鉑皿，再放入高溫烘箱，等烘箱的溫度到達550°C後，定溫烘乾30分鐘後，取出稱重(c值)。MLVSS = (c值 - a值) / 體積，即為MLVSS值。

### 4.環狀有機物測量

測量上述四種有機環狀物濃度乃採用氣相層析儀(GC)來分析，其分析條件為苯、甲苯、對二甲苯以BC120(3m)氣相層析管柱(滯留時間分別為11.5分

鐘、9.8分鐘、15分鐘)，而萘以OV-17(3m)氣相層析管柱(滯留時間為17分鐘)分析。氣相層析儀的條件設定如下所示：偵測器：FID Detector，入口溫度(injection port temperature)240°C，偵測器溫度(detector temperature)280°C，Carrier Gas 20 ml/min，Flow Rate靈敏度(range)2，空氣流量(airflow)0.6kg/cm<sup>2</sup>，氫氣流量(hydrogenflow)0.6kg/cm<sup>2</sup>。將已知濃度的環狀物(苯、甲苯、對二甲苯、萘)，放入三角瓶中，並以二氯甲烷萃取8小時後，再經上述步驟處理以氣相分析儀分析，得到標準曲線。

#### 四、結果與討論

由於苯、甲苯、對二甲苯、萘本身為揮發性有機物，所以在生物分解過程中必須考慮經由揮發所造成的損失。滅菌後的污泥經24小時處理，實驗結果顯示，在有加鋁箔紙蓋住的三角瓶，苯、甲苯、對二甲苯、萘經由三角瓶在室溫(25°C)，溢揮發所造成的損失小於10%。；馴養污泥方面，100g/L苯的揮發損失為8.5%，100g/L甲苯的揮發損失為7.1%，100g/L對二甲苯的揮發損失為7.4%，60g/L萘的揮發損失為5.2%。在馴養污泥方面，100g/L苯的揮發度為7.7%，100g/L甲苯的揮發損失為7.1%，100g/L對二甲苯的揮發損失為5.2%，60g/L 的揮發損失為5.6%。

表1 有機物經滅菌後污泥24小時處理，殘留濃度百分比(%)

非馴養污泥					馴養污泥				
時間	苯	甲苯	對二甲苯	萘	時間	苯	甲苯	對二甲苯	萘
0小時	98.8	101.3	103.4	57.7	0小時	99.6	102.3	97.6	61.2
4小時	99.4	99.8	99.6	57.9	4小時	98.7	97.7	95.8	60.9
8小時	96.5	97.5	98.9	57.4	8小時	97.6	98.2	96.8	59.6
12小時	93.4	96.5	95.8	55.1	12小時	95.6	9,645	94.3	57.3
24小時	90.4	94.1	95.7	54.9	24小時	91.9	95	92.5	57.8

## 4.1 活性污泥對單一基質苯、甲苯、對二甲苯、萘分解的結果

### 4.1.1 未馴養污泥對不同濃度的苯、甲苯、對二甲苯、萘的分解結果

活性污泥經過馴養之後，對苯、甲苯、對二甲苯、萘的分解情形，與未馴養污泥比較，會有顯著的不同。未馴養之活性污泥對不同濃度的苯、甲苯、對二甲苯、萘的分解情形，苯濃度在60g/L至80g/L時，分解速率最為迅速；甲苯和對二甲苯則在100g/L(實驗的最高濃度)，有最佳的分解速率；萘在40g/L的分解效果較50g/L和60g/L佳。對於未馴養之活性污泥，苯與甲苯所使用的濃度在80g/L以下均能在24小時之內完全分解，而大部分的有機物則在前8小時被利用掉。如以100g/L的濃度在反應24小時之後分別對苯與甲苯衰殘留24%和5.5%。對二甲苯則顯示具有較高的殘留濃度，24小時作用之後，起始濃度60g/L以下的對二甲苯完全被利用掉，100g/L和80g/L則有近10%的殘留。在萘的分解中於最高的操作濃度之內(60g/L)都能在24小時之內被消耗掉。由基質利用的結果顯示(圖1、圖3、圖5、圖7)，在本研究使用未馴養的污泥中含有分解苯、甲苯、對二甲苯、萘的微生物，在微生物的分佈上以分解苯與甲苯的能力較強。對於未馴養污泥在不同濃度的苯、甲苯、對二甲苯、萘的分解，有不同的較佳操作濃度，此與苯、甲苯、對二甲苯、萘對本研究中所使用的污泥，所造成的毒性有關。對此結果的解釋為，毒性物質的抑行為：Andrews[如2-6]<sup>[17]</sup>提出，當有毒物質在濃度未達抑制行為之，前微生物於基質的分解速率會隨著濃度的升高而升高，當基質濃度到達對微生物產生抑制行為之後，分解速率會隨著濃度的升高而降低。故不同的基質在不同微生物中，會有不同的抑制濃度。

### 4.1.2 在馴養污泥的分解結果

經過馴養污泥分解苯、甲苯、對二甲苯、萘的結果，如圖2，圖4、圖6、圖8所示。污泥中的微生物對有機基質的消耗速率，苯在80g/L、甲苯在100g/L、對二甲苯在100g/L、萘在50g/L的分解效果較佳。經過馴養的污泥對於不同濃度的苯、甲苯、對二甲苯、萘的分解，與未馴養污泥比較，有明顯的差別。對於不同度的對二甲苯未馴養污泥與經過馴養的污泥差別不。大經過馴養的污泥對於苯的分解效困較未馴養的污泥佳，在濃度100g/L時，此情形較為顯著。甲苯的結果和苯相類似，如圖1、圖2所示，只是在100g/L時，馴養污泥

與未經馴養污泥之間的差異較小。萘因溶解度的限制只討論60g/L、50g/L和40g/L，所以馴養污泥和未經馴養污泥之間的差異較不明顯，如圖8、圖9所示。相較於非馴養污泥，馴養污泥，除了有較短的適應期外，還有較高的操作的濃度。污泥經馴養之後，有毒物質的抑行為會降低及微生物的生長適應期會減短，而高了其分解速率。污泥經馴養之後，污泥中能適應的菌種會生存下來；無法適應的種會被淘汰，有毒物質的抑制作用對馴養過的污泥就較低了，而能有較高的操作濃度。在不同濃度下的苯、甲苯、對二甲苯、萘對污泥活性的生長影響，在以污泥的懸浮固體濃度及揮發性懸浮固體濃度(MLSS和MLVSS)為參考指標。污泥處理不同濃度的苯其MLSS在整個生物分解的過程都維持在5200(mg/L)。而其三個有機物都使MLSS隨時間有下降的趨勢。甲苯溶液中之MLSS由5300mg/L反應8小時後維持在5100mg/L，對二甲苯反應12小時之後維持在5000mg/L和萘反應12小時之後維持在5000mg/L。在MLVSS方面這四個有機物則從4700mg/L降至4500mg/L。

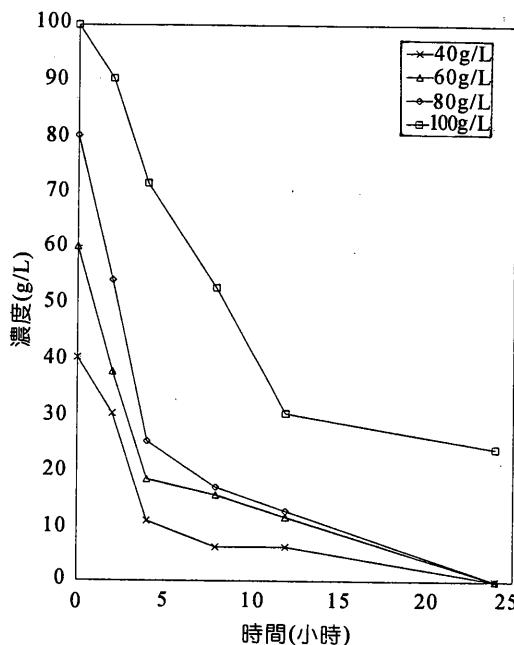


圖1 非馴養污泥對不同濃度苯的分解

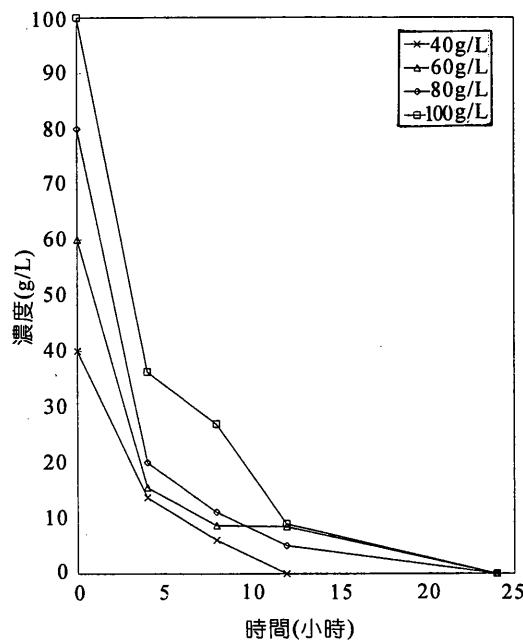


圖2 飼養污泥對不同濃度苯的分解

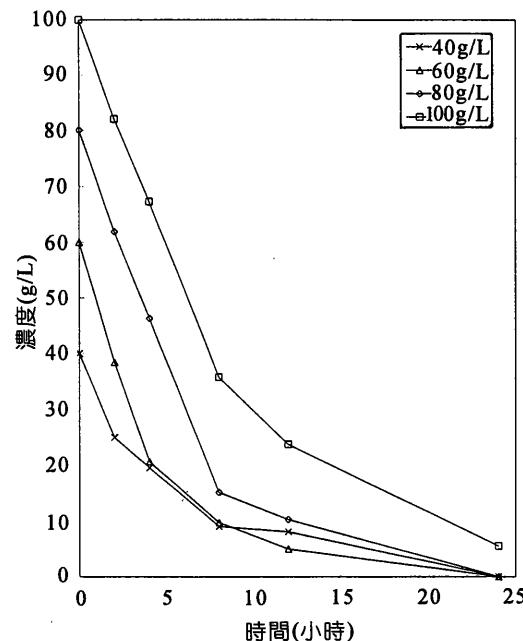


圖3 非飼養污泥對不同濃度甲苯的分解

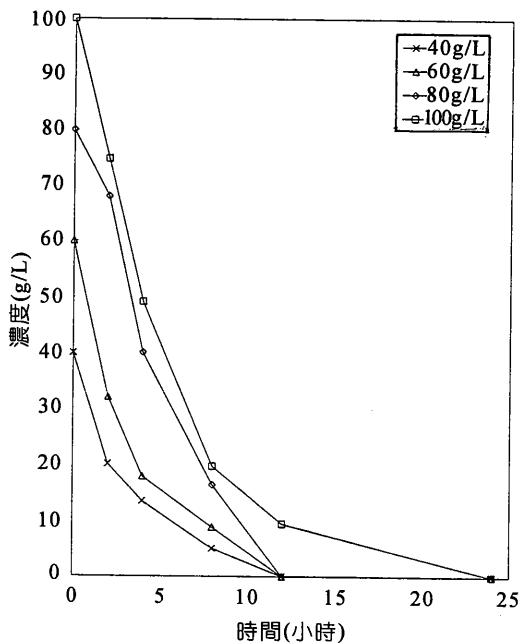


圖4 飼養污泥對不同濃度甲苯的分解

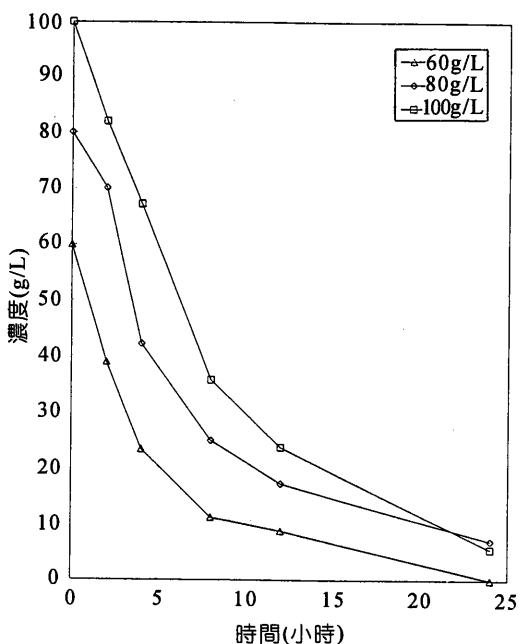


圖5 非馴養污泥對不同濃度對二甲苯的分解

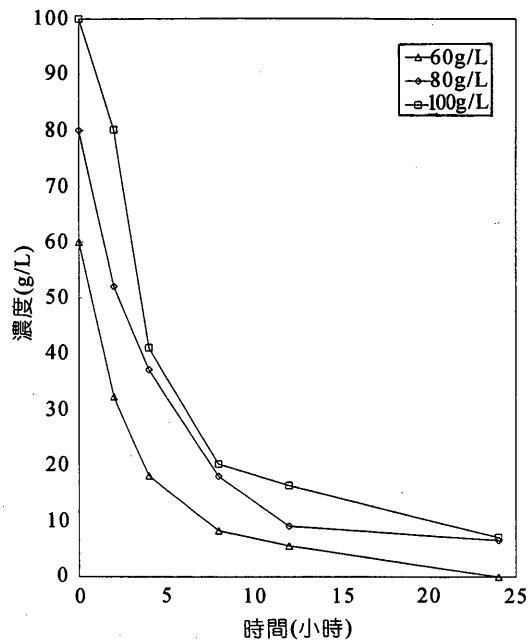


圖6 副養污泥對不同濃度對二甲苯的分解

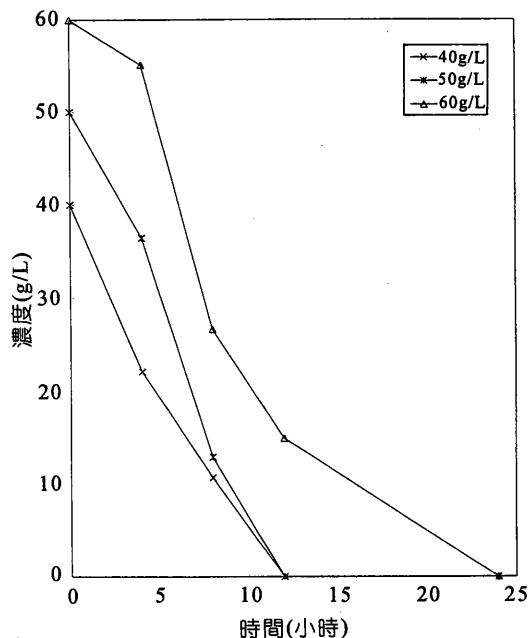


圖7 非副養污泥對不同濃度萘的分解

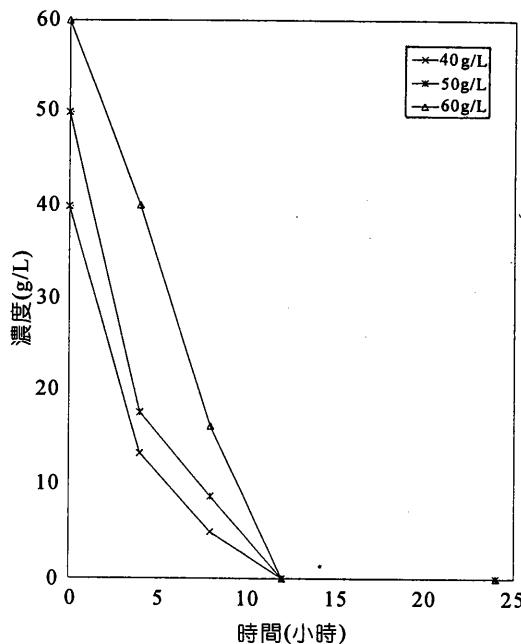


圖8 飼養污泥對不同濃度萘的分解

## 4.2 活性污泥分解共存基質的結果

### 4.2.1 兩個基質共存時的反應結果

在非馴養污泥方面，當40g/L的萘存在時，非馴養污泥對於60g/L苯、甲苯、對二甲苯的分解情形，24小時後萘的殘留濃度降到12~15g/L左右，苯降到10g/L(圖9)、甲苯完全被利用掉(圖10)、對二甲苯的濃度則降到10g/L以下(圖11)。污泥在經馴養後，經24小時的生物分解之後，對於水溶液含40g/L的萘存在時，馴養污泥對於60g/L苯水溶液的分情形，24小時後，萘和苯則都降到10g/L左右(圖9)；馴養污泥對於60g/L的甲苯水溶液，萘的濃度降到12g/L，甲苯則完全被利用掉(圖10)；對於60g/L的對二甲苯水溶液，萘的濃度會降到11g/L以下，對二甲苯的濃度則降約7g/L(圖11)。

### 36 石油廢水中萘存在對於苯、甲苯、對二甲苯活性污泥處理之影響

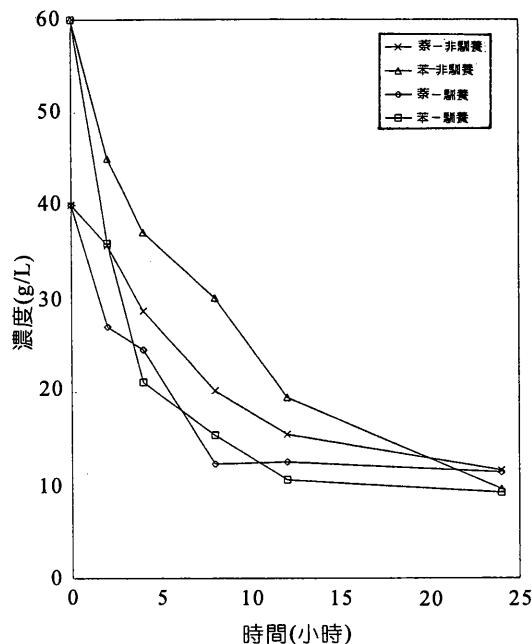


圖9 馴養污泥和非馴養污泥對苯和萘共存的分解

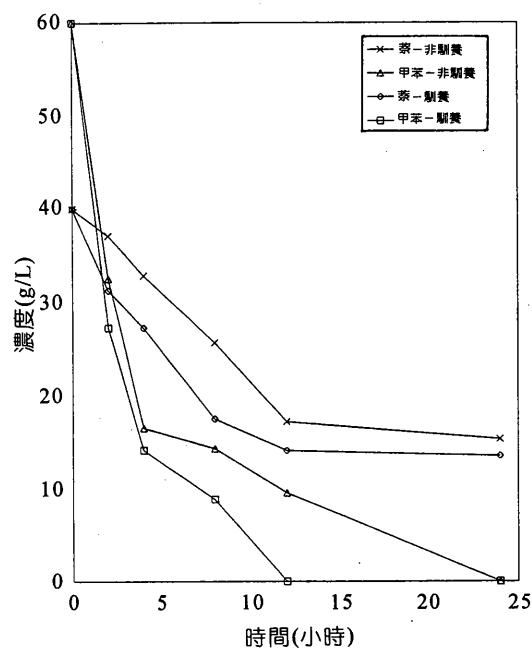


圖10 馴養污泥和非馴養污泥對萘和甲苯的分解

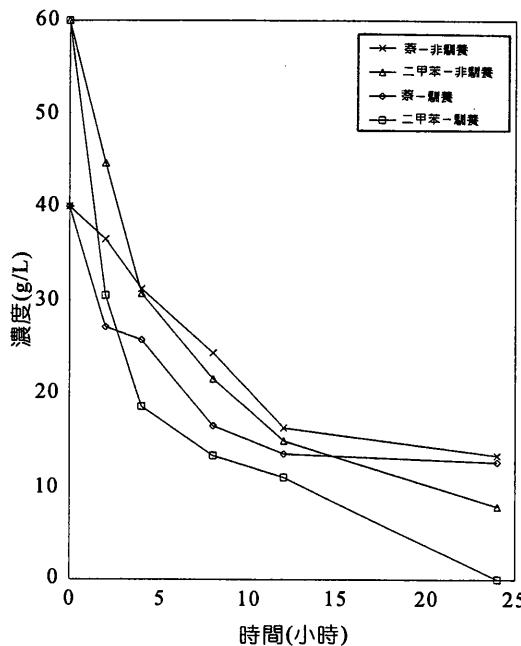


圖11 飼養污泥和非飼養污泥對苯和二甲苯的分解

#### 4.2.2 二個基質共存時的反應結果

在非飼養污泥方面三種不同基質共存時，當40g/L苯存在時，污泥處理含有40g/L苯和40g/L甲苯的水溶液，在24小時的反應後，苯的濃度到10g/L，甲苯完全被利用掉，苯的濃度降到22g/L(圖12)。污泥對於水中有機物的分解速率為甲苯>苯>萘。相較於不存在時水溶液中，40g/L苯和60g/L甲苯的水溶液，經處理後的殘留濃度則和苯存在於水溶液時相似。此時苯的存並沒有明顯影響到污泥對水溶液中苯和甲苯的分解。對於含有40g/L甲苯和40g/L對二甲苯的水溶液，在反應後，甲苯和對二甲苯則完全被利用掉，苯的濃度降到約25g/L(圖13)。在共存基質效應下，污泥對有機物的分解速率，為甲苯>對二甲苯>苯。另外水溶液含40g/L苯、40g/L甲苯和40g/L對二甲苯，在反應後，苯的濃度降到15g/L，甲苯和對二甲苯則完全被利用掉。污泥在經飼養後，三種不同基質共存時，水溶液含40g/L苯、40g/L甲苯和40g/L對二甲苯時，經反應後苯的濃度降到7g/L，甲苯和對二；甲苯則完全被利用掉。有機物分解的速率為甲苯

> 對二甲苯 > 苯。40g/L 苯、40g/L 甲苯和40g/L 萘共存時，反應後苯和甲苯則完全被利用掉，萘降到15g/L(圖12)。污泥分解不同的有機基質的速率為甲苯 > 苯 > 萘。40g/L 甲苯、40g/L 對二甲苯和40g/L 萘混合時，24小時的反應後，甲苯和對二甲苯完全被利用掉，萘則降到16g/L(圖13)。在共存基質下，污泥分解的速率為甲苯 > 對二甲苯 > 萘。相較於非馴養污泥，馴養污泥有較高的苯、甲苯、對二甲苯、萘分解的速率。

#### 4.2.3 四個基質混合的結果

在非馴養污泥方面，含有30g/L 苯、30g/L 甲苯、30g/L 對二甲苯和30g/L 萘的水溶液，經24小時的反應後，苯的濃度降到10g/L，甲苯和對二甲苯完全被利用掉，萘的濃度降到20g/L(圖14)。污泥分解不同的有機物的速率為甲苯 > 對二甲苯 > 苯 > 萘。當濃度提高為各含40g/L 的苯、甲苯、對二甲苯、萘時，經反應後苯、甲苯、對二甲苯的殘留濃度和上述一樣，惟萘的殘留濃度稍高為25g/L(圖15)。污泥分解不同的有機物的速率和在較低濃度時(30g/L)相似。污泥在經馴養後，分解這四個有機物的結果為：在濃度當為各含30g/L 的苯、甲苯、對二甲苯和萘時，經反應後苯、甲苯、對二甲苯降和甲都完全被利用掉，萘的濃度則降到15g/L(圖16)。當濃度提高為各含40g/L 的苯、甲苯、對二甲苯、萘的濃度則降到15g/L(圖17)。對於這四個有機物共存時，在兩種不同的濃度下(30g/L 和40g/L)分解速率其順序為甲苯 > 對二甲苯 > 苯 > 萘，且馴養污泥皆較非馴養污泥有較強的分解能力。

以上結果顯示，活性污泥分解苯、甲苯、對二甲苯的順序為甲苯 > 對二甲苯 > 苯 > 萘，對此結果的解釋(a)具有烷基取代基者將比苯易被微生物所分解，且支愈多者將不易被氧化分解<sup>(1)</sup>，所以污泥分解甲苯的速率大於對二甲苯也大於苯。(b)污泥的來源不同，造成在污泥中菌落混合不同，在許多文獻的記載中，得知不同的菌種對苯、甲苯、對二甲苯，有不同的分解順序，其中 Myung-Keun Chang<sup>(7)</sup>等人提出，*Pseudomonas Fluorescens*菌只分解甲苯和對二甲苯，而不分解苯，因此在含有此菌種較多的污泥分解對二甲苯的速率 > 苯。(c)碳的環狀數目愈多者，微生物的代謝愈複雜<sup>(19)</sup>，越不易被氧化分解，所以污泥對苯的分解速率大於對萘的分解率。

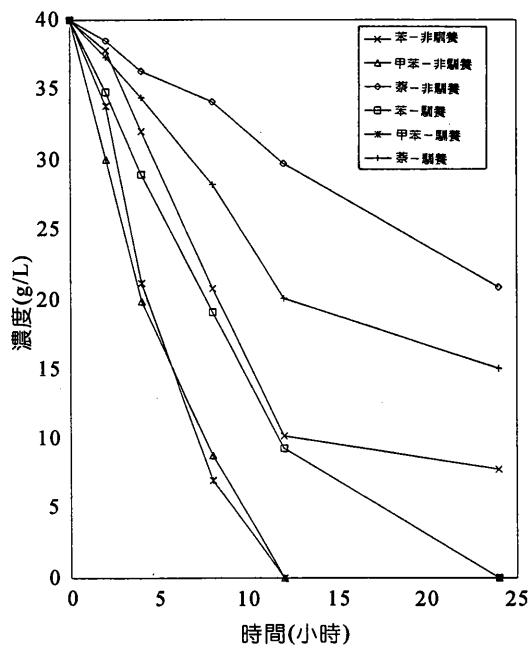


圖12 飼養污泥和非飼養污泥對苯、甲苯和萘共存的分解

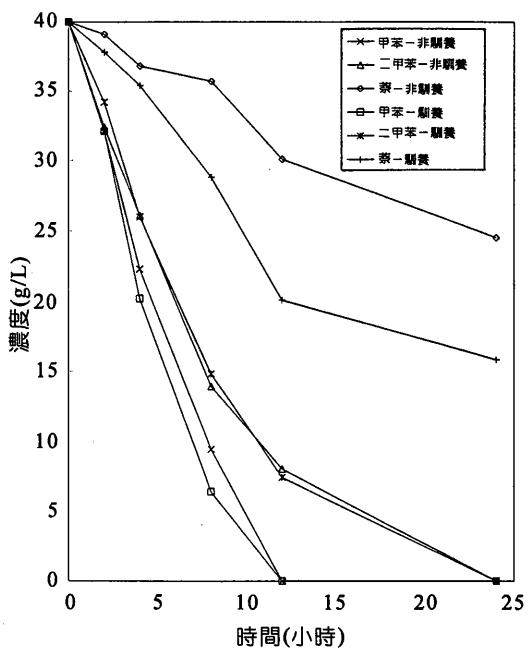


圖13 飼養污泥和非飼養污泥對對甲苯，對二甲苯和萘共存的分解

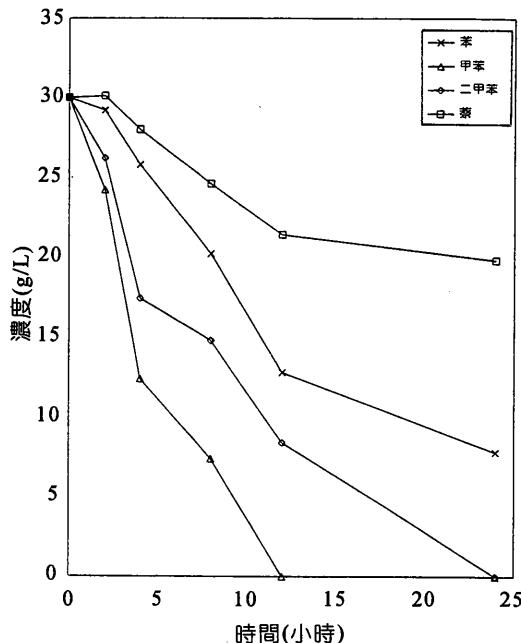


圖14 非副養污泥對濃度各為30g/L之苯、甲苯、對二甲苯和萘共存的分解

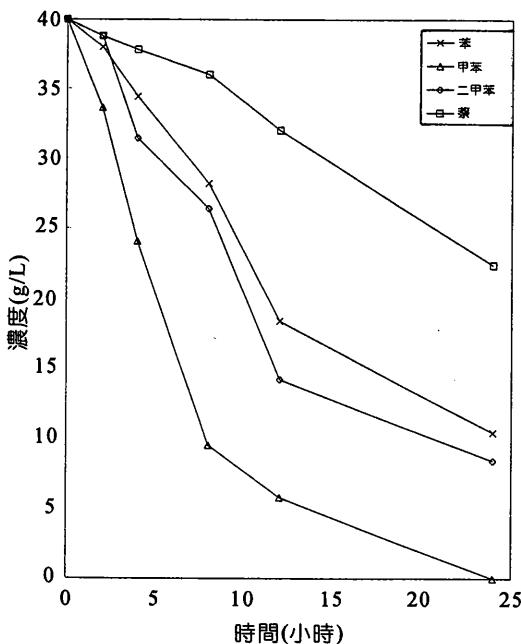


圖15 非副養污泥對濃度各為40g/L之苯、甲苯、對二甲苯和萘共存的分解

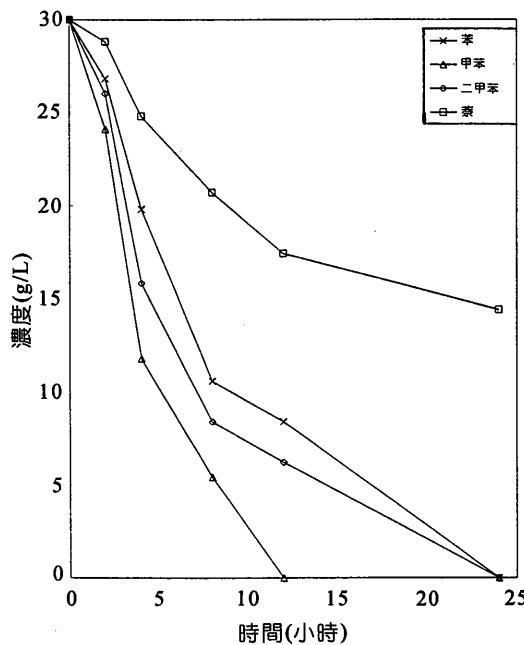


圖16 副養污泥對濃度各為30g/L之苯、甲苯、對二甲苯和萘共存的分解

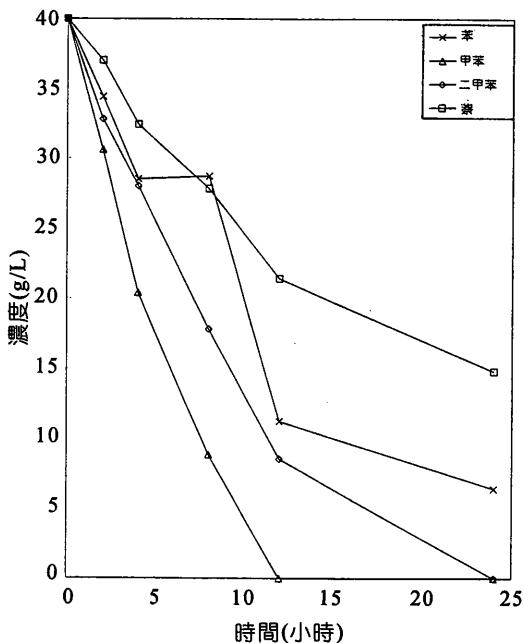


圖17 副養污泥對濃度各為30g/L之苯、甲苯、對二甲苯和萘共存的分解

#### 4.2.4 苯、甲苯、對二甲苯和萘在共生基質下的影響

活性污泥在分解混合基質中，苯、甲苯、對二甲苯、萘在共基質下，相互間會產生競爭性的抑制作用。在分解苯方面，共基質對非馴養污泥分解能力的影響，40g/L苯與60g/L甲苯或60g/L對二甲苯存在時，反應後苯的濃度都降到10g/L萘，而苯單獨存在時則能被完全利用掉。三種物質共同存在時40g/L苯、40g/L甲苯及40g/L對二甲苯水溶液，反應後苯的濃度降到10g/L，水溶液含40g/L苯、40g/L甲苯及40g/L萘，反應後苯完全被利用掉，40g/L甲苯、40g/L對二甲苯和40g/L萘水溶液，經反應後苯的濃度降到約8g/L(圖13)。污泥對不同基質下的苯，其分解速率如表2所列。有其他有機物共存時，污泥對其分解速率則明顯降低。

馴養污泥分解共同存在兩種基質時，含40g/L苯與60g/L甲苯水溶液，和40g/L苯與60g/L二甲苯水溶液，經反應後苯完全被利用掉；共同存在三種期質時含40g/L苯、40g/L甲苯及40g/L對二甲苯水溶液，40g/L苯在與40g/L甲苯及萘水溶液，40g/L苯與40g/L甲苯、40g/L對二甲苯和40g/L萘共同存在下，反應後苯都完全被利用掉(圖17)。已馴養污泥對不同基質混合下的，其分解的結困較非馴養污泥較優(表2)。

表2 對苯在兩種不同基質、三種不同基質和四種不同基質共存下的分解速率( $-dc_{\text{苯}}/dt$ )

化 合 物	分解速率(mg/L × hr)	
	非馴養污泥	馴養污泥
苯	4	4.3
苯和甲苯混合	2.1	3.1
苯和對二甲苯混合	2	3.9
苯、甲苯和對二甲苯混合	2	3.5
苯、甲苯和 混合	2	3.5
全部混合	1.6	3.3

在分解甲苯方面，共基質對非馴養污泥分解的影響，40g/L甲苯與60g/L對二甲苯，40g/L甲苯與苯對二甲苯，40g/L甲苯與40g/L苯及40g/L萘共存下、40g/L甲苯與40g/L對二甲苯及40g/L萘共存時、40g/L甲苯在與40g/L苯、對二

甲苯和萘共存時，經24小時反應後甲苯都完全被利用掉。污泥對甲苯的分解速率(如表3所示)不會受到其它基質混合所影響。已馴養污泥在分解甲苯方面，40g/L甲苯與60g/L對二甲苯混合下，40g/L甲苯與40g/L苯和對40g/L二甲苯混合下，40g/L甲苯與40g/L苯及40g/L萘混合下，40g/L甲苯與40g/L對二甲苯及40g/L萘混合下，40g/L甲苯與40g/L苯、40g/L對二甲苯和40g/L萘混合下，經24小時的反應後，甲苯也都完全被利用掉。污泥對甲苯的分解速率不隨共同存在的物質增多而降低反而有略升高(表3)。在分解甲苯速率方面，馴污泥和非馴養污泥則相差不大且較不會受到其它基質混合所影響。

在分解對二甲苯方面，以非馴養污泥分解共存基質時，60g/L對二甲苯與40g/L苯混合之水溶淬、60g/L對二甲苯與40g/L甲苯混合之水溶液、60g/L對二甲苯與40g/L 混合之水溶液，經24小時的反應後，對二甲苯的濃度都會降到10g/L；均共有在對二甲苯為單獨基質下，反應後對二甲苯完全被利用掉。污泥對在不同基質下的對二甲苯，其分解速率隨共同存在的物質增多而降低(表4)。使用馴養污泥分解共存基質時，60g/L對二甲苯與40g/L苯混合之水溶液、60g/L對二甲苯與40g/L甲苯混合之水溶液、60g/L對二甲苯與40g/L萘混合之水溶液，經24小時的反應後，對二甲苯都完全被利用掉。污泥對對二甲苯的分解速率(表4)不會受到其它基質混合所影響。

表3 對甲苯在兩種不同基質、三種不同基質和四種不同基質共存下的分解速率( $-dc\text{甲苯}/dt$ )

化 合 物	分解速率(mg/L × hr)	
	非馴養污泥	馴養污泥
甲苯	3.3	3.6
甲苯和對二甲苯混合	3.1	3.5
甲苯和苯、對二甲苯混合	3.9	3.6
甲苯和苯、 芬混合	3.4	4.5
甲苯和對二甲苯、苯混合	3.8	4.3
全部混合	4	4.1

表4 對對二甲苯在三個不同基質和四個不同基質混合下，  
污泥對二甲苯的分解速率( $-dc$ 對二甲苯/ $dt$ )

化 合 物	分解速率(mg/L × hr)	
	非馴養污泥	馴養污泥
對二甲苯	5	3.2
對二甲苯和苯、甲苯混合	3.3	3.6
對二甲苯和苯、 混合	3.8	4
全部混合	2.6	2.9

在分解萘方面，共基質非馴養污泥分解的影響，40g/L萘與60g/L苯混合之水溶液、40g/L萘與60g/L甲苯混合之水溶液、40g/L萘與60g/L對二甲苯混合之水溶液，40g/L萘與40g/L甲苯及對二甲苯混合之水溶液，40g/L萘與40g/L苯、甲苯和對二甲苯混合之水溶液，經24小時的反應後，萘的濃度降到22g/L；而只有在萘為單一基質下，經24小時的反應後，萘完全被利用掉。當共存的有機物越多時，非馴養污泥的分解能力有明顯下降，在單一基質下的萘，其分解速率為四者共存的四倍。已馴養污泥分解共存基質時：40g/L萘與60g/L苯混合下，40g/L萘與60g/L甲苯混合時，40g/L萘與60g/L對二甲苯混合時，經24小時的反應後，萘的濃度降到12g/L，而40g/L萘與40g/L苯及甲苯混合時，40g/L萘與40g/L甲苯及對二甲苯混合時，40g/L萘與40g/L苯、甲苯和對二甲苯混合時，經24小時的反應後，萘的濃度會降到15g/L。而在萘為單一基質下，經24小時的反應後，萘完全被利用掉。污泥對單一基質下的萘，其分解速率如表5所示。當共存的有機物越多時，馴養污泥的分解能力也有明顯下降，在單一基質下的萘，其分解速率為四者共存時的二倍。

苯、甲苯、對二甲苯和萘之間的抑制作用，由本研究的結果顯示萘受到甲苯的抑制作用最大，其次為苯，而抑制最小為對二甲苯；而對二甲苯也會對苯及萘產生抑制行為。換言之，毒性越弱的物質會對毒性強的物質產生抑制的行為，此結果與Myung-Keun Chang<sup>(7)</sup>等人所做的實驗結果相同。

表5 在兩種不同期質、三種不同基質和四種基質共存下，  
污泥分解萘的分解速率(-dc萘/dt)

化 合 物	分解速率(mg/L×hr)	
	非馴養污泥	馴養污泥
萘	3.3	3.2
萘和苯混合	2.5	2.9
萘和甲苯混合	2.1	2.4
萘和對二甲苯混合	2.3	2.8
萘和苯、甲苯混合	1.1	1.9
萘和甲苯、對二甲苯和 混合	0.8	1.8
全部混合	0.8	1.6

## 五、結 論

本研究的目的乃利用活性污泥中的微生物，經馴養後對萘存在時苯、甲苯和對二甲苯的分解情形，並之化間的變化情形，來找出污泥在分解廢水中的苯、甲苯、對二甲苯和萘時，較佳的操作條件。

本研究的結果顯示，未經馴養的活性污泥在分解不同濃度的單一基質時，苯在60g/L、甲苯在80g/L、對二甲苯在60g/L、萘在50g/L下有較佳的操作條件，且活性泥在經馴養後，不但可以降低有毒物質對污泥的抑制作用，而且能提高操作的濃度，更可以將廢水中苯、甲苯、對二甲苯和萘的濃度降的更低。另外，活性污泥在分解混合基質時，可得到結論：第一、苯、甲苯、對二甲苯和萘在本研究的活性污泥中，其分解順序為甲苯>對二甲苯>苯>萘。第二、苯、甲苯、對二甲苯和萘之間的抑制性時，發現毒性較小的基質對毒性強的基質，會產生競爭抑制的行為，且其間毒性的差異大，競爭抑制的作用越明顯。

## 參考文獻

- 1.趙聖傑、廬至人、李季眉、杜彥寰，“BTEX共存生物分解的基質效應研究”  
國立中興大學，第19屆廢水處理技術研討會論文集，1994。
- 2.廖志鴻、廬至人、李季眉，“受苯及甲苯污染之地下水之現代生物復育—砂  
管柱模擬實驗”，國立中興大學，第18屆廢水處理技術研討會論文集，  
1993。
- 3.環保署，“甲級事業廢水管理訓練教材”環保通訊雜誌，1991。
- 4.Bailey, J.E., And D.F. Ollis., "Biochemical Engineering Fundamentals" 2nd  
Edition, McGraw-Hill , New York, 1986.
- 5."Water Quality Management Library Volume 1, " Technomic Publishing Com-  
pany, Inc. Lancaster, Pennsylvania, U.S.A., 1992.
- 6.Perry And Chilton, "Chemical Engineers Handbook 5th Edition" Mei Ya  
Publications, Inc., 1981.
- 7.Chang, Myung-Keun, T.C. Voice, C.S. Criddle, "Kinetics Of Competitive  
Inhibition And Cometabolism In The Biodegradation Of Benzene, Toluene,  
Bioengineering, 41:1057-1065, 1993.
- 8.Volkering, F., A.M. Breure, A. Sterkenburg, J.G. Van Ande, "Microbial  
Degradation Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon:Effect Of Substrate  
Availability On Bacterial Growth Kinetic," Applied. Microbiology,  
36:548-552, 1992.
- 9.Alvarez, P.J.J., T.M. Vogel, "Substrate Inhibitions Of Benzene, Toluene,  
And Para-Xylene During Microbial Degradation by Pure Culturee And  
Mixed Culture Aquifer Slurries", Applied and Environmental Microbiology,  
Oct.: 2981-2985, 1991.
- 10.Wiesel, I., S. M. Wubker, H.J. Rehm, "Degradation Of Polycyclic Aromatic  
Hydrocarbons by an Immobilized Mixed Bacterial Culture" , Applied Micro-  
biology Biotechnology, 39:110-116, 1993.

- 11.Lee,Jang-Young, Jae-Rang Roh, Hak-Sung Kim, "Metabolic Engineering Of Pseudomonas Putida for the Simultaneous Biodegradation of Benzene, Toluene, and P-Xylene Mixture", Biotechnology and Bioengineering, 43: 1146-1152, 1994.
- 12.Arvin, E., B.K. Jensen, A.T. Gundersen, "Substrate Interaction during Aerobic Biodegradation of Benzene, "Applied and Environmental Microbiology, Dec:3221-3225,1989.
- 13.Warith, M. A., R. Fereehner, L. Fernandes, "Biemediation of Organic Contaminated Soil" Hazardous Waste & Hazardous Materials, 9:137-147, 1992.
- 14.Richard Udall Edgehill, "Isolation and Adaptation Studies on A *Microorganism Capable of Biodegradation Pentachlorophenol*. "Cornell University, January 1980.
- 15.Jerry Y.C. Huang, Meng-Dawn Cheng, "Measurement and Applications of Oxygen Uptake Rates in Activated Sludge Processes", Journal Water Pollution Control Fed., 56:259-265,1985.
- 16.J. F. Andrews, "A Mathematical Model for the Continuous Culture of Micro-organisms Utilizing Inhibitory Substrates:, Biotechnology and Bioengineering 10:707, 1968.
- 17.S. Aiba, M. Shoda, and M. Nagatani, "Kinetics of Product Inhibition in Alcohol Fermentation", Biotechnology and Bioengineering, 10:845,1969.
- 18.Billy E. Haigler, Charles A. Pettigrew, Jim C. Spain, "Biodegradation of Mixtures of Substituted Benzenes by Pseudomonas sp. JS150: Applied and Environmental Microbiology, 58:2237-2244,1992.
- 19.Furnkawa, K., J.R. Simon and A.M. Chakrabarty, "Common induction and regulation of biphenyl, Xylene/toluene and salicylate catabolism in Pseudomonas paucimobilis" J. of Bacteriol. 154:1356-1362,1983.
- 20.Susan Cooper Brown, C. P. Leslie Grady Jr. and Henry H. Tabak, :Biodegradation Kinetics of Substituted Phenolics: Demonstration of a Protocol Based on Electrolytic Respirometry." Water Research, 24(7):853-861,1990.