

# 個案分析

## SBR化工廢水處理系統改善

馬健雄\*

### 摘要

本輔導案是針對本省內某一化學工廠中廢水處理系統作深入改善工作。在三個月內的深入輔導工作中，除更換已損壞的散氣設備外，在未增加任何處理設備下，配合實驗室的研究結果，進行廠內廢水處理系統的操作改良。直至本報告寫作止，結果把放流水質由輔導前的 $\text{TCOD} \geq 1,500\text{mg/l}$ 及透視度 $\leq 2.5\text{cm}$ ，成功處理至 $\text{TCOD} = 239\text{mg/l}$ ,  $\text{SCOD} = 194\text{mg/l}$ ,  $\text{SS} = 49\text{mg/l}$ ,  $\text{TBOD} = 44.1\text{mg/l}$ ,  $\text{SBOD} = 29.7\text{mg/l}$ 及透視度 $\geq 17.5\text{cm}$ ，達到現時放流水標準。經本團輔導後，該廠除放流水水質能達到排放標準外，亦因曝氣設備的改善而降低動力損耗，及刪除廢水前處理操作後減低了藥品使用的費用。本報告即針對此輔導案的過程，即現場調查，實驗室探討及現場改善，作詳細的說明，最後並比較了實驗室的生物處理結果與現場實際操作的異同處，以供各工廠廢水處理及希望以實驗結果作現場改善的參考。

### 一、廠內廢水來源、特性及現有處理設備

#### 1.1 廠內廢水來源及特性

##### 1.1.1 廢水來源

該化學工廠（以下稱化工廠）係生產印花固色劑、柔軟劑、皮革塗飾乳膠、不織布用乳膠等工業用添加化學物質。主要製造流程參見圖1所示，原理是把原料單體聚合成聚合物產品。

\*中國技術服務社工業污染防治技術服務團工程師

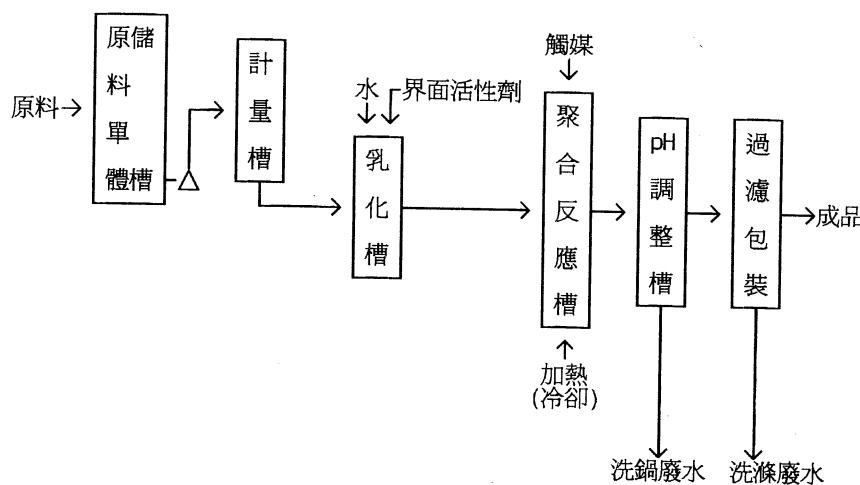


圖 1 製造流程圖

廠內主要廢水來源是清洗反應槽之廢水，另外還有少部份由實驗室所排放之廢水。

## 1.2 現有廢水處理程序

### 1.2.1 處理流程

廢水處理系統流程如圖 2 所示，在處理規劃時，由於廠方停止生產排出胺類廢水的產品，故此股廢水未考慮在設計中（但現時此股廢水再度產生及排入處理系統內），其餘兩股廢水經各自之前處理後進入調和池，經 pH 調整至抽水井，每天以定時控制方式，以泵浦把進流水打進批式活性汙泥池(SBR)內，SBR 以 24 小時 - 循環的方式操作，即包括進流、反應、沉澱、排水及預備等階段，SBR 的特點可參考文獻<sup>(5)(6)(8)(9)(10)</sup>。放流水由廠內水溝直接排入河川中。汙泥主要來源是乳化廢水混凝後之化學汙泥，經批式混凝後，混合液直接排入汙泥乾燥床內，稍待沉澱後，上層液排至調勻池，當汙泥儲存到某定量時，即關閉該汙泥乾燥床，讓汙泥乾燥，而另外操作另一個已經清理好之汙泥乾燥床，一般兩床各操作一星期，互相交替使用。

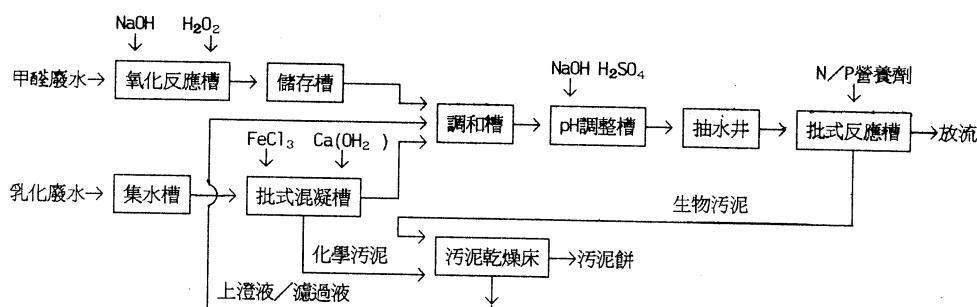


圖 2 化工廠內廢水規劃處理流程圖

### 1.2.2 排入廢水處理系統中主要廢水之水量及水質

由廠內製程中所產生的廢水主要可分為三股，即甲醛廢水、乳化廢水及胺類廢水，由廠方所提供之設計水量及水質資料如下：

廢水種類	水 量( $m^3/day$ )	COD (mg/l)
甲醛廢水	2 ~6	30,000~80,000
胺類廢水	1 ~3	1,000~ 2,000
乳化廢水	44	4,000~6,000

從三月份至四月份現場收回之各股水樣，經本團實驗室分析其COD及pH值後，整理如下表 1 所示。

表 1 化工廠內三股廢水之水質分析結果

樣品編號	甲 醛 廢 水		胺 類 廢 水		乳 化 廢 水	
	COD (mg/l)	pH	COD (mg/l)	pH	COD (mg/l)	pH
1	138,607	8.99	7,595	10.38	4,272	5.79
2	79,054	11.42	1,460	11.90	4,320	9.10
3	197,468	6.70	1,101	11.65	7,722	7.89

由上表可知廠內各股廢水之水質變化程度很大，由於廠內產品種類繁多，當增加產量或某部份產品需求增加時，廢水濃度隨之而增加。三股廢水中，乳化廢水水量佔大量，而COD 則主要由甲醛廢水所造成，胺類廢水則鹼度最高，若單獨處理，則需要大量酸來中和。三股廢水的COD及BOD值參見表 2。

表 2 三股廢水的COD/BOD值

廢水種類	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	BOD/COD (mg/l)
甲醛廢水	136,314	80,762.5	0.592
胺類廢水	8,778	3,353.4	0.382
乳化廢水	39,478	2,020.7	0.512

由上表之結果可知，甲醛與乳化廢水易被微生物所分解，而胺類廢水則含較少可供生物分解之有機物。一般正常生產時，胺類廢水中COD 濃度在1,500mg/l以下，且水量少，可被稀釋而不會影響放流水質，但當此幾股廢水因增加產量而使污染濃度上升時，既有之處理設備則無法負荷。其餘水質項目，經分析調勻池進流水後，可得表 3 之結果。進流水中含有大量氮源但顯然磷量不足，而TKN/COD值約在0.04。而BOD/COD值均達到0.6 以上，即現場排出之廢水應可用生物方式來處理。

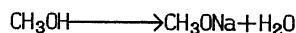
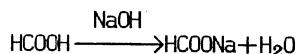
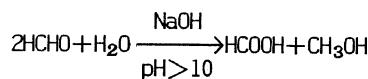
表 3 調勻池進流水水質

樣品編號	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	BOD/COD	TKN (mg/l)	TP(mg/l)	TDS (mg/l)
1	7,446.6	4,649.8	0.624	307	—	—
2	3,538.0	2,553.0	0.722	148	0.554	227

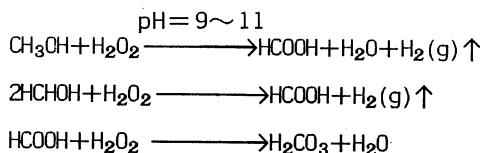
### 1.2.3 廢水前處理

廠內廢水經分別收集及儲存，再經前處理後排入調勻池中以待進一步之處理。由於乳化廢水內含有樹脂高分子(resin polymers)及界面活性劑等混合乳化之帶負電荷膠體，此類物質經添加混凝劑如Al<sup>+3</sup>及Fe<sup>+3</sup>等，調整pH後即可有效被沉澱去除。甲醛廢水中含有高濃度之甲醛(20~30g/l)，此物質具生物毒性，當濃度在135~175mg/l時即對活性污泥系統造成抑制，但微生物經馴養後可去除其中大部份BOD。為防止生物抑制現象，故廠內以生物處理甲醛時，先添加H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>及NaOH進行氧化及鹽化的前處理，其反應式如下：

#### 1. Cannizaro Reaction



#### 2. 雙氧水處理



經氧化轉換後，原為透明之CH<sub>3</sub>OH廢水即轉變為含醋酸及CH<sub>3</sub>ONa之棕色液體。一般加藥量為H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/HCHO=3，而現場實際操作使用量為40kg-NaOH+5kg-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/1.5噸甲醛廢水。

以上二股廢水分別收集，乳化廢水經混凝沉澱後排入調勻池，而甲醛廢水則經氧化後排入，再以生物處理。

## 三、實驗室處理之結果與討論

為了解各股廢水的生物特性，故在本團實驗室內進行了一連串的實驗，包括生物抑制性實驗、可分解性實驗、混凝對生物分解的影響及SBR模型實驗等，以評估廢水的生物可處理性及最大處理能力與最高去除率等，再進一步應用此部份結果來評估現場處理系統的最大容量及操作改善的依據。

### 3.1 以SOUR探討各股廢水的生物特性

#### 3.1.1 比攝氧率 (Specific Oxygen Uptake Rate, SOUR) 的實驗方法

實驗是使用DO儀及300ml的BOD瓶<sup>(1)</sup>，在室溫下 (Temp~23°C) 進行各股廢水在不同基質濃度下生物攝氧速率分析。實驗中所使用之污泥是取自現場SBR 內，於實驗室中馴養兩週，經沉澱及以清水淘洗三次後使用，每次加入30ml污泥 (MLSS=6,800mg/l) 使 BOD 瓶內MLSS=680 mg/l。實驗操作時，加入適量之稀釋水 (先以自來水曝氣使DO達飽和量)、基質及污泥，然後插入DO電極棒及開始攪動瓶內混合液。經30 sec攪動後開始記錄瓶內DO與時間變化值，操作11 分鐘後或DO已在2mg/l以下時，可停止該次實驗，而數據待進一步整理。

數據處理的工作，是取DO與時間變化的線性段做迴歸分析，求取斜率是為攝氧率 (OUR)。一般扣除起始反應階段的滯留段 (lag phase) 及DO低於 1mg/l 後的數據，均可獲得一組線性相關良好的結果，參見圖 3 所示，是以乳化廢水濃度 500mg/l 時所做的結果，線性相關非常明顯，該組實驗的OUR值為 0.516mg·O<sub>2</sub>/min，換成SOUR及常用單位可得。  
 $SOUR = 0.516(\text{mg} \cdot \text{O}_2/\text{l} \cdot \text{min}) \times 60(\text{min}/\text{hr}) / 0.68(\text{g} \cdot \text{MLSS}/\text{l})$   
 $= 45.52(\text{mg} \cdot \text{O}_2/\text{g} \cdot \text{MLSS} \cdot \text{hr})$

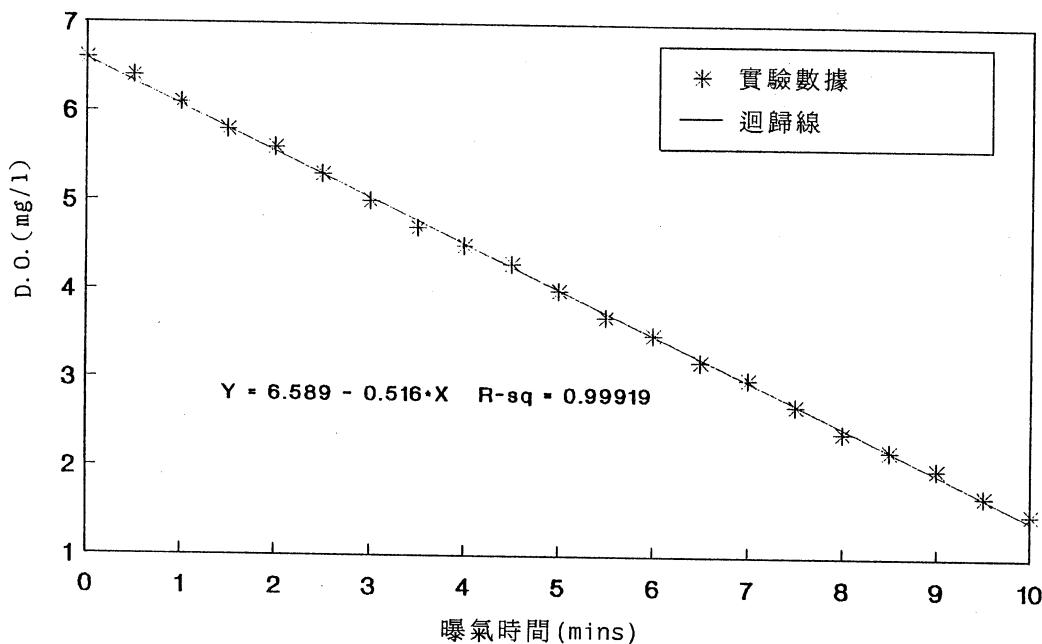


圖 3 乳化廢水 COD = 500mg/l 時的攝氧情況

## 3.1.2 各股廢水在不同基質濃度下之SOUR變化

三股廢水共分四種即乳化廢水、胺類廢水、經氧化的甲醛廢水及未經氧化的甲醛廢水在不同基質濃度下，由SOUR的實驗可得如表4及圖4 SOUR與COD的變化。以下就各股廢水的SOUR-SCOD特性來討論其在處理系統中的可能影響。

表4 各股廢水的SOUR與SCOD的關係結果

基質濃度 SCODmg/l	SOUR值(mg/O <sub>2</sub> /g-MLSS·hr)			
	胺類廢水	甲醛廢水	氧化甲醛廢水	乳化廢水
10	14.94	-	-	-
50	20.96	-	-	-
100	24.04	21.29	17.70	32.73
200	25.72	25.00	22.13	41.92
300	-	28.72	-	-
500	26.33	31.40	26.12	45.52
1000	27.80	30.99	29.78	43.98
1500	-	-	-	39.00
2000	-	28.72	32.28	-

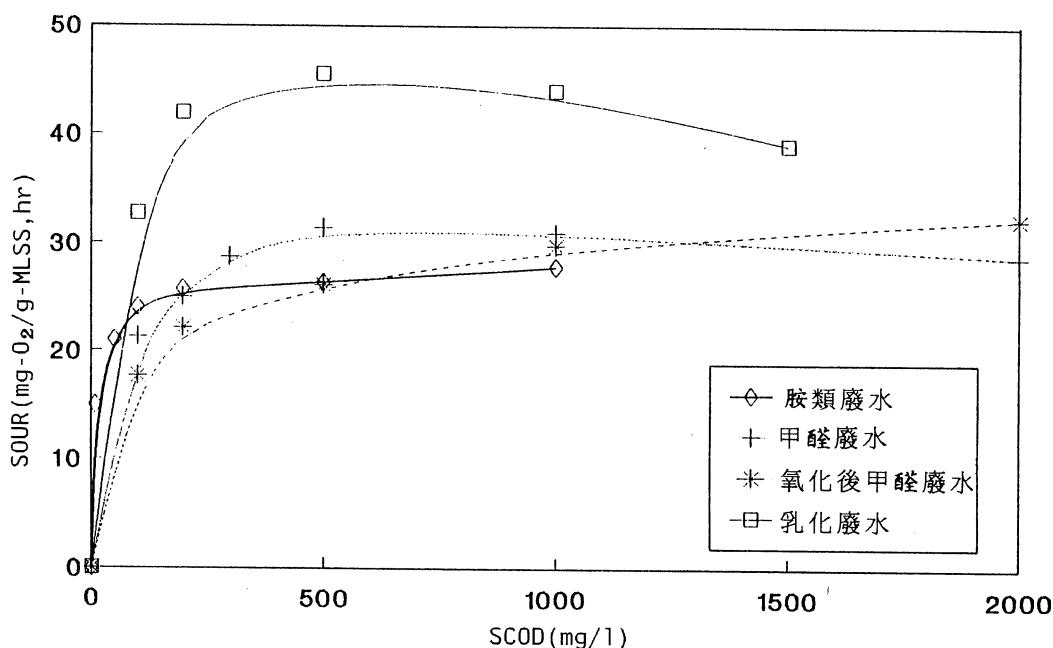


圖4 四種廢水的SOUR與SCOD的變化曲線

### 1. 胺類廢水的結果及討論

由圖4胺類廢水合乎非抑制性的Monod模式，對生物的效應並不如想像中含劇毒。因由現場操作結果及規劃設計時所作的回分式分解實驗，每當加入胺類廢水時，放流水COD值均大幅提高，故認為此股水含生物毒性，不適宜以生物來處理。在本團初勘時，廠方準備以活性碳吸附方式來處理此股廢水，但本團認為應獲實驗結果後才作處理方式的決定。

由實驗結果，胺類廢水並無生物抑制性，SOUR值均偏低表示此股不易分解，但最低限度是表示此股水內沒有容易分解及抑制性的物質。胺類廢水的Monod曲線中 $k_s$ 值很低，表示此股水適合控制在較低的濃度，這樣可以獲得較大的單位基質分解速度，而現場通常排入胺類廢水時均不考慮其濃度，大量及不穩定的進出，使生物分解此股廢水的速度下降，而造成未能完全分解現象。

故由SOUR的實驗結果，首先不應把胺類廢水排斥在生物分解的能力以外，應就其排入的濃度，作生物分解動力的控制，應可獲得較佳的效果，唯此股廢水的可分解性應再進一步探討，以控制進流水量，而使放流水濃度不受其殘留的影響。

### 2. 兩股甲醛廢水的結果及討論

甲醛本身具生物毒性，故早就受生物處理的關注。由SOUR的結果，未經氧化的甲醛廢水，其動力模式仍屬抑制性型的Haldane形式。當甲醛廢水的濃度超過500 mg-SCOD/l時，即臨界基質濃度約在500 mg/l左右，生物活性（以SOUR表示）即有漸降的現象，但降幅較推想中的低，可能是污泥已受長期性的馴養所致。而氧化後的甲醛廢水則明顯不具生物毒性，反應動力屬Monod形式。就反應速率即SOUR的大小來比較，在SCOD濃度1,000 mg/l以下時，未氧化的甲醛廢水有較高的分解速率，或含有較容易分解物質，但當SCOD超過1,000 mg/l時，所含的抑制性物質即開始造成分解的障礙。氧化後的甲醛廢水雖不含生物毒性，但較佳的操作濃度亦在500mg/l以下。若500mg-SCOD/l是控制甲醛廢水的較佳條件，則為何要多花人力及物力進行前處理的鹼性氧化工作？故由此部份的結果，現場對甲醛廢水的前處理工作是多餘而浪費的操作方式，應就其進流水濃度及進流量來進行控制較為實際和有效。

### 3. 乳化廢水的結果及討論

乳化廢水因佔總排出廢水量的90%以上，而本身水質的變化由400mg-COD/l至9500 mg-COD/l不等，故此股廢水對放流水質的影響很大。由實驗的結果，此股廢水中含生物抑制性物質，而抑制效應較明顯。即當SCOD濃度超過500 mg/l時則明顯降低生物活性或生物分解基質速率。SCOD=500 mg/l是該股廢水的臨界基質濃度。雖然此股廢水含有較明顯的生物抑制特性，由於在不同SCOD濃度下都有較高SOUR值，故可推論此股廢水內含有易被生物分解的物質。就反應動力控制，此股廢水在生物反應槽內仍應控制其濃度不得高於400mg-SCOD/l為佳。故在廢水的濃度調勻及進水流量的控制均應特別注意和小心操作，才可發揮生物的分解作用。

#### 4. 綜合討論

由四種廢水的SOUR實驗結果，乳化廢水較具生物毒性，但有較高的生物分解速率而胺類廢水雖不含生物毒性，但分解速度緩慢。若整體在生物程序內控制在一較低的濃度下，則對胺類廢水的分解較為有利，但在低濃度控制下卻要考慮污泥膨化(bulking)的冒險性。

由SOUR實驗中顯示出高分解性的物質，只能推論廢水中含有部份容易被生物分解的物質但不能定量，因為廢水中化合物種類並非單一性，但若原料和製程不變，則以上的結果仍可採信作為廢水評估的依據。當測試顯示出難分解或抑制性時，則廢水中一定含有大量此類物質。由於以上實驗均針對單一種廢水的測試，兩種或多種廢水混合時是否對抑制性有相互作用，是增加或減低了生物毒性。就操作的安全性來考慮，較低的濃度（在生物系統內）操作，應可增加其安全性。

### 3.2 回分式活性污泥探討廢水的分解程度

#### 3.2.1 取現場SBR 內混合液再曝氣之實驗

在本團初勘化工廠時，曾於SBR槽內採回 1公升之混合液，回實驗室後，先做上澄液之SCOD，然後置於 1公升量筒內曝氣，並每隔一段時間，經沉澱半小時後取上澄液過濾做SCOD的分解研究。圖5是經 132小時曝氣在整個過程中SCOD的變化情況。

當天廠內放流水約 $1,500\text{ mg/l}$ (TCOD)，而SCOD為 $1,380\text{ mg/l}$ ，當經23小時的曝氣後，SCOD降至 $750\text{ mg/l}$ ，去除率45.7%。此表示放流水中COD仍有大部份可被生物分解。在採樣時可看見污泥呈鬆散淡黃色膠羽，沉降界面不明顯，表示污泥量不足，污泥有機負荷太高。

曝氣45小時後SCOD只降了 $50\text{ mg/l}$ ，故為確定該SBR 內生物是否受到抑制而發生有機物分解緩慢或是廢水中確實含有大量難分解性物質，故在量筒內加入20ml在實驗室內經沉澱之污泥繼續曝氣。到反應了 110小時（再曝氣65小時）後，SCOD可降至 $470\text{ mg/l}$ ，此時pH由7.50降至6.44。此表示新加入之污泥需要一些時間馴養或原先的微生物經幾天後才能恢復較高的活性，即現場污泥可能受到抑制作用。到曝氣達 132小時後，SCOD不但沒降，反而由 $470\text{ mg/l}$ 升至 $590\text{ mg/l}$ ，而pH亦由8.0下降至6.5，量筒內可能有硝化反應發生，而所產生的 $\text{NO}_2-\text{N}$ 造成pH下降及SCOD上升。

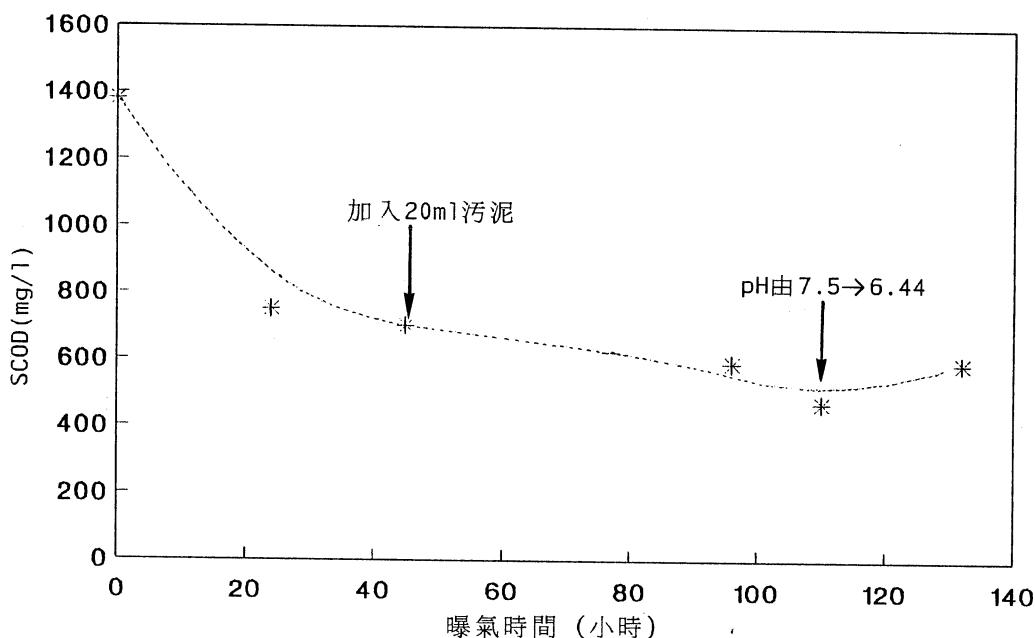


圖 5 SBR 內混合液經再曝氣後SCOD的分解結果

### 3.3 各股廢水的回分式生物分解實驗

#### 3.3.1 實驗內容及方法

此部份實驗是探討化工廠內所排出的三股廢水的生物可分解特性。進流是取自廠內各股廢水，其SCOD值分別如下：

混凝後之乳化廢水：3,870mg/l

胺類廢水：7,590mg/l

甲醛廢水：138,600mg/l

氧化後甲醛廢水：100,600mg/l

實驗中所使用之綜合廢水是在實驗室中，把每股廢水經固定比例調配，即乳化廢水(340ml)+甲醛廢水(43ml)+胺類廢水(17ml)，混合後再經以500mg/l $\text{FeCl}_3$  及pH=7.5的條件下混凝所得之上澄液，其COD約17,600mg/l。實驗中所用的污泥是取自化工廠內SBR槽，帶回實驗室後，以廠內調勻池廢水馴養兩星期，然後以清水淘洗三次後待用。實驗中各取總水量800 ml，而MLSS濃度為2,000 mg/l。除乳化廢水及胺類廢水曝氣達50小時外，其餘三股廢水，由於在26小時曝氣後SCOD已無太大變化或殘留量很低故停止操作。

### 3.3.2 實驗結果與討論

#### 1. 甲醛廢水分解結果

由表 5 中的結果顯示，胺類廢水在三股廢水中最難被生物分解，26小時曝氣結果SCOD去除率祇有37.8%，而乳化廢水則有85.4%，其餘三種廢水的去除率均在90%以上。有趣的是氧化後甲醛廢水的SCOD分解率反而降低。由前面SUOR的結果，雖然未經氧化的甲醛廢水具生物毒性，但其抑制程度並不嚴重。由本次實驗所得，經以 $H_2O_2$ 在鹼性條件下氧化的甲醛廢水，可能產生某些難分解物質，致使其生物分解太慢去除率降低。就分解速率來探討，未氧化的甲醛廢水有較大的微生物利用速率。若以前10.5小時來計算，假設在此段時間內反應呈線性的變化如圖 6 中各曲線之第一段所表示者，甲醛廢水的分解速率為 $103.0\text{mg/l.hr}$ ，而氧化後的甲醛廢水為 $90.5\text{mg/l.hr}$ 。對照SUOR的結果在基質濃度 $1,000\text{mg/l}$ 左右時，甲醛廢水較氧化後的有較高的攝養速率，此結果正好印證此部份生物分解的現象。

表 5 各股廢水的生物可分解研究第一次實驗結果

曝 氣 時 間 (小時)	混凝後之乳化廢水 SCOD (mg/l)	胺類廢水 SCOD (mg/l)	甲醛廢水 SCOD (mg/l)	氧化後甲醛廢水 SCOD (mg/l)	綜合廢水 SCOD (mg/l)
0	1,732.4	950.7	1,267.6	1,056.3	1,246.5
10.5	1,098.6	802.8	185.9	105.6	185.9
26.5	253.5	591.5	67.6	101.4	84.5
50.0	246.6(361.6)*	427.4(493.2)*	—	—	—
26小時之SCOD去除率%	85.4	37.8	94.7	90.4	93.2

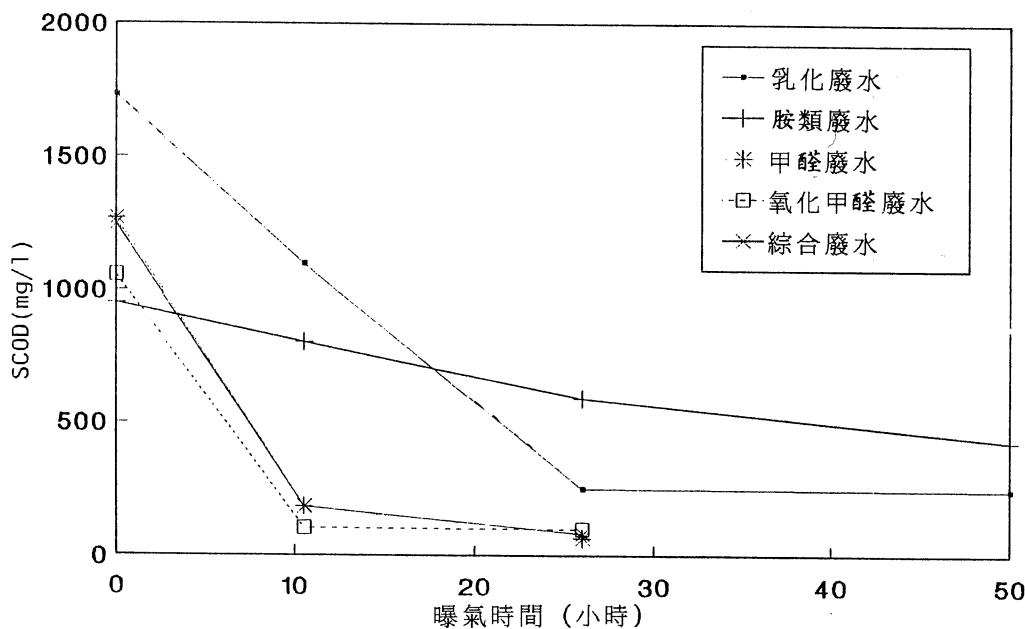


圖 6 五種廢水曝氣生物分解的結果

## 2. 胺類廢水分解結果

胺類廢水的分解率低，故在以前的設計實驗及現場操作的結果，當加入胺類廢水時，放流水的COD都會升高，而一直認為胺類廢水有抑制作用。但由前面sour及數次分解實驗的結果，證明胺類廢水（本次採的水樣）並無生物毒性，但卻難以生物分解。經50小時曝氣後胺類廢水的SCOD去除率可由10.5小時的37.8%上升至55.0%，表示此股廢水經生物馴養後，仍可達到較高的去除率。但現場操作時斷斷續續的添加，而且加入量無適當控制，故每次胺類廢水加入後就發現放流水不對勁，然後一段時間停止此股廢水的進流，但此操作方式卻無法馴養出分解的微生物，慢慢成為一惡性循環。

## 3. 乳化廢水分解結果

現時乳化廢水佔總進流水量（包括稀釋水）的72%，由現場水質分析的結果，混凝後的乳化廢水SCOD約為400~9,000mg/l，在本實驗中50小時曝氣結果SCOD的去除率雖達85.8%，但放流水SCOD達246.6mg/l而TCOD則已超過300mg/l的現行放流水標準。乳化廢水量佔多數，而去除率又較甲醛廢水低，對放流水質的影響很大，若要達到現行或82年放流水標準(TCOD=200 mg/l)，就管末處理的方法而言，必須建設一足夠容量的調勻池，以均勻此股廢水的水質，再配合廠內製程的減廢工作及在前處理混凝沉澱中操作在最佳的條件下，即可獲得更佳的改善效果。

## 4. 綜合廢水分解結果

綜合廢水經過26小時的曝氣後可得93.2%SCOD去除率。若按綜合廢水各股廢水的混合比例來計算其SCOD的去除率，其值約在85%左右。是否因各股廢水都經過混凝沉澱後才進行生物處理，故較現時只有乳化廢水進行混凝的SCOD去除率要高。為要進一步證實這項結果，在下一次分解實驗中會探討將所有廢水及只有乳化廢水經混凝後對生物分解的影響。

### 3.4 全混凝與部份混凝對生物分解的影響

#### 3.4.1 實驗內容及方法

為探討部份混凝（即只對乳化廢水進行前處理之混凝沉澱，然後加入其餘兩股廢水作生物處理之進流，是現時廠內所使用的操作方式）及全混凝（指三股廢水合併後再進行混凝處理才做生物處理進流）對生物程序處理的影響，故在本次實驗中混合出兩種廢水，然後以回分式生物處理，以瞭解對微生物的分解結果，此兩種廢水的配置及各股廢水水質如下：

三股廢水的原COD濃度

乳化廢水（未混凝）：4,320mg/l

胺類廢水：1,459.5mg/l

甲醛廢水（未氧化）：79,054mg/l

全混凝綜合廢水的成份如下：

乳化廢水：胺類廢水：甲醛廢水=900：22.5：67.5；COD=8,266.7mg/l，加入 $\text{FeCl}_3$   
濃度=900mg/l，pH調至7.22

全混凝綜合廢水COD=5,466.7mg/l。

部份混凝綜合廢水的成份如下：

乳化廢水(COD=4,320mg/l)加 $\text{FeCl}_3$ =800mg/l，pH=7.27

混凝後乳化廢水COD=450mg/l

部份混凝綜合廢水=混凝乳化廢水(900ml)+胺類廢水(225ml)+甲醛廢水(67.5ml)  
COD=5,822.2mg/l

取兩種廢水各600ml分別加入1公升量筒內，然後加入100ml沉澱污泥(最後MLSS=1,500 mg/l)及適量磷，然後曝氣。每次採樣前先放置15mins，然後取上澄液經過濾後測定COD。整個曝氣實驗過程共94小時，結果整理參見表6。

表6 全混凝及部份混凝綜合廢水的生物分解實驗結果

曝 氣 時 間 (小 時)	全 混 凝 綜 合 廢 水		部 份 混 凝 綜 合 廉 水	
	SCOD(mg/l)	SCOD去除率(%)	SCOD(mg/l)	SCOD去除率(%)
0	4,557.0	0	4,708.9	0
17.5	1,253.2	72.5	1,329.1	71.8
41.0	440.5	90.3	632.9	86.6
65.0	334.2	92.7	470.9	90.0
94.0	339.4	92.6	425.3	91.0
最初pH	9.12		8.43	
最後pH	6.17		6.36	
最後透視度(cm)	20		15	

### 3.4.2 實驗結果與討論

經94小時曝氣後，全混凝的SCOD可去除92.6%由4,557.0降至339.4mg/l；而部份混凝的SCOD去除率為91.0%，由4,708.9降至425.3mg/l。由以上結果，明顯經全混凝後的綜合廢水有較多比例的生物可分解基質，即胺類及甲醛廢水內有部份COD可經混凝去除。雖然對SCOD的去除量來說全混凝只多增加85.9mg-COD/l的量，但已使更接近放流水的標準。此外，全混凝後也可提升生物處理後放流水的透視度。就現時場內操作情況及管線配置來評估，應不難做到全混凝的前處理方式。

雖然全混凝可降低進流水的COD值和增加COD的去除效率，但混凝所需的混凝劑用量要增加才能達到最佳混凝結果。如上述兩種綜合廢水，全混凝需 $\text{FeCl}_3$ 為900mg/l，而半混凝則只需800mg/l，若後者操作在900mg- $\text{FeCl}_3$ /l的話，混凝後的乳化廢水由最佳的460 mg/l上升至680mg/l。

由最初17.5小時內COD分解速率來看(參見圖7)，兩種綜合廢水非常接近，表示混凝對胺類及甲醛廢水內容易被生物分解的COD無去除效率。而到41小時後兩者的差別更明顯，到94小時後，SCOD去除率又較為接近只相差1.6%，表示較長的曝氣時間可有利於難分解物質的生物利用。

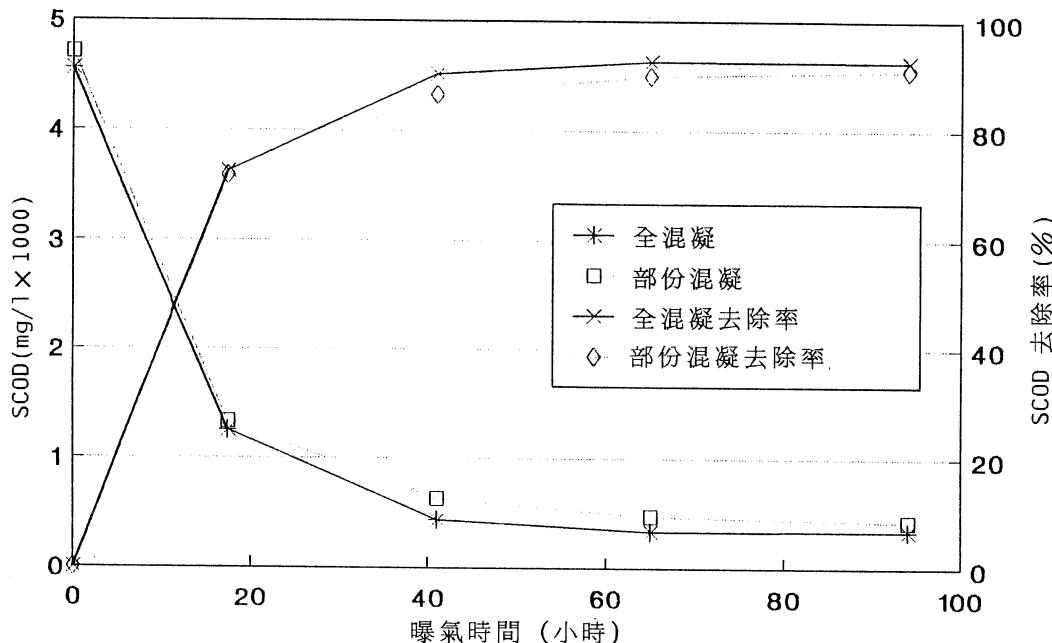


圖7 全混凝與部份混凝的回分式活性污泥分解結果

### 3.5 實驗室SBR模型處理結果及討論

#### 3.5.1 實驗室設備及方法

實驗設備包括進流及SBR主槽兩組設備，其構造參見圖8，SBR有效容積為3.75公升，進流水取自化工廠內調勻池，經酸化至pH 3以下保存，然後再取出調整pH及加入適量 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 充當磷源。實驗時改變進流水濃度、容積負荷、進流時間等作為探討處理效率的操作參數。每天的分析項目包括放流水TCOD、SCOD、透視度與觀察槽內微生物相及每天更換進流水時均測定其TCOD值。

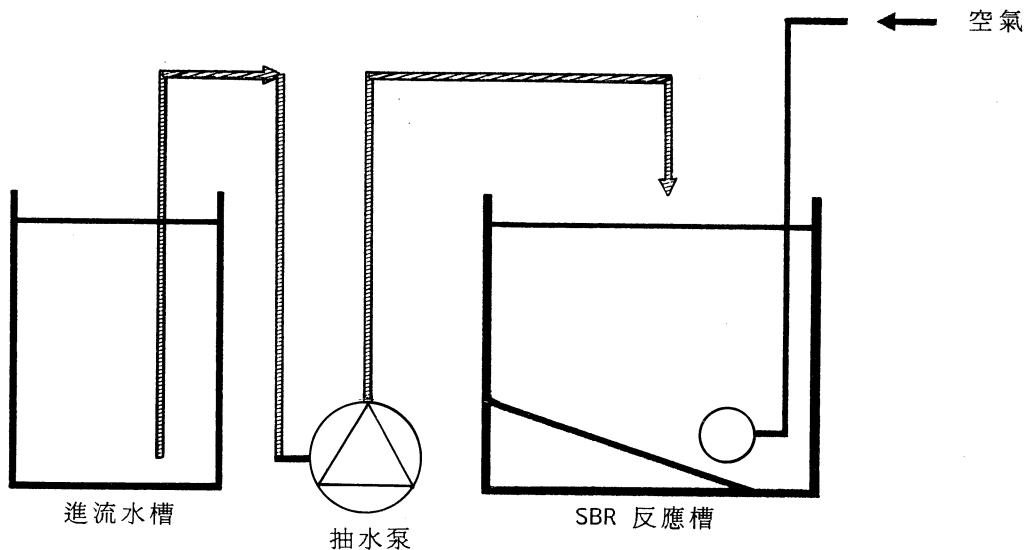


圖 8 實驗室 SBR 主要設備示意圖

進流水進流時間是以普通定時器控制，而靜止、排水及開始曝氣等工作則以人工操作，每天24小時作為一個操作循環。

### 3.5.2 實驗結果與討論

#### 1. 概述

本部份實驗共連續進行了24天的操作。為探討操作條件的突然變更時對處理系統和放流水水質的影響，故在每個試程中未待結果十分穩定時就改變條件。雖然廢水中的有機物組成變化不多（因只有採樣兩次），難以跟現場廢水水質嚴重變化的情況相比，但對突增負荷或進流水COD濃度改變等水質因素對SBR影響的特性等，可從實驗室的模擬操作中獲得一些訊息。

實驗的操作條件及結果均整理於表7內，包括了SBR的操作控制時間，進流水水質及水量，放流水水質及COD的去除率等。由於在實驗室內對SBR的各種程序操作較易，故在排水方面時間可以很短就完成，而在現場實際操作則最少要1小時的操作時間才能排完。故在實驗室操作中加入靜止時間以補充排水時間及作排泥等工作。

表7 實驗室SBR模型實驗之結果

操作天數	SBR之各階段				SBR操作條件	進流水質			放流水質			COD去除率(%)	
	反應時間(hrs)	進水汙泥(hrs)	排水停止時間(hrs)	靜止時間(hrs)		生物負荷(g/1-d)	MLSS(mg/l)	槽內沉澱污泥容積(ml)	水量(mg/l)	pH	TCOD(mg/l)	SCOD(mg/l)	
1 21	6	2	1/6	0	1.077	0.228	4080	500	3,718.2	0.95	7.48	420.0	256.0
2 21	6	2	1/6	5/6	1.042	----	----	450	3,600.0	0.95	7.58	352.0	288.0
3 21	6	2	1/6	5/6	1.016	----	----	400	3,510.0	0.95	7.25	336.0	256.0
4 21	6	2	1/6	5/6	0.984	----	----	450	3,400.0	0.95	7.29	352.0	288.0
5 21	6	2	1/3	5/6	0.976	----	----	450	3,370.0	0.95	7.55	352.0	320.0
6 21	6	2	1/3	2/3	0.926	----	----	500	3,200.0	0.95	7.62	368.0	336.0
7 21	6	2	1/6	2/3	0.903	----	----	500	3,120.0	0.95	7.59	350.0	300.0
8 21	6	1.5	1/6	5/6	0.811	----	----	550	2,800.0	0.95	7.68	270.0	240.0
9 21.5	9	1.5	1/6	0	1.022	0.274	3300	600	2,400.0	1.43	7.48	260.0	250.0
10 22.0	9	1.0	1/6	1/3	1.098	----	----	700	2,640.0	1.43	7.46	240.0	230.0
11 21.5	9	1.5	1/6	5/6	1.149	----	----	----	2,700.0	1.43	7.53	288.6	258.2
12 21.0	9	1.75	1/6	3/4	2.338	----	----	800	8,075.9	0.95	7.16	1048.1	501.3
13 40.5	9	1.33	1/6	5/6	0.978	----	----	900	8,250.0	0.75	8.56	531.6	425.3
15 22.0	6	1.50	1/6	1/2	1.978	----	----	1000	8,000.0	0.85	7.64	501.3	470.9
16 22.3	6	1.50	1/6	5/6	2.215	----	----	1000	8,125.0	0.95	7.18	531.6	501.3
17 22.3	6	1.33	1/6	5/6	2.045	0.381	4925	1250	7,550.0	0.95	7.63	645.0	555.0
18 21.7	6	1.50	1/6	5/6	2.049	----	----	1300	7,313.4	0.95	7.61	735.0	675.0
19 22.3	9	2.00	1/6	5/6	2.013	----	----	1200	4,837.5	1.45	7.43	525.0	510.0
20 23.83	9	0.67	1/6	1/3	1.850	----	----	1000	4,750.0	1.45	7.17	465.0	405.0
21 21.17	9	1.50	1/6	1/6	2.075	----	----	900	4,575.0	1.50	7.58	195.0	135.0
22 22.33	9	1.17	1/6	2/6	1.808	----	----	900	4,350.0	1.45	7.65	232.5	150.0
23 22.67	9	1.17	1/6	2/3	1.874	----	----	900	4,425.0	1.50	7.35	251.9	207.4
24 22.83	40	1.17	1/6	2/3	0.816	----	----	900	4,851.9	0.60	6.95	177.8	163.0

SBR 的容積負荷及生物負荷是用以下公式來計算：

$$\text{容積負荷(g/l.day)} = \frac{\text{進流水COD濃度} \cdot \text{進流水量}}{\text{反應槽體積} \cdot \text{水力停留時間}}$$

$$\text{生物負荷(day)} = \frac{\text{進流水COD濃度} \cdot \text{進流水量}}{\text{反應槽體積} \cdot \text{水力停留時間} \cdot \text{MLSS}}$$

\* 反應槽體積 = 3.75 公升

槽內沉澱污泥容積是指沉降後，沉澱污泥在SBR槽內所佔的體積。

污泥經馴養一星期後就可發現大量輪蟲(Rotifers)的出現，也有少量線蟲(Nematoda)等指標生物，而原生動物方面有Aspidisca及鐘形蟲兩種佔優勢。就算在突變負荷下，此類生物相亦維持一貫性。進流水的pH值控制在7.5左右，而放流水則在pH=7.0左右，SCOD的去除率是以進流水COD來計算，因進流水內SS甚低，故亦假設TCOD為SCOD。

## 2. 進流水濃度對放流水濃度的影響

進流水進流濃度可分為三段，即3,000mg/l、8,000mg/l及4,500mg/l，如圖9所示，X軸為操作日期，而Y軸則包括進流水COD濃度及放流水中TCOD與SCOD濃度。在第一階段除第一天的放流水TCOD超過400 mg/l外，其餘均在240~370mg/l間，由TCOD與SCOD相差達164mg/l可知是污泥未馴養所致。在第一階段由於沒有注意到SBR內硝化情況，在做COD分析時沒有加入氨基磺酸以去除NO<sub>2</sub>-N，而第一階段放流水中NO<sub>2</sub>-N由62.5至99.0mg/l，平均為81.4mg/l。由分析結果可知每1g的NO<sub>2</sub>-N約相等於1.1gCOD值。若在第一階段中扣除NO<sub>2</sub>-N所造成的COD，則放流中有機物的COD均在3,000mg/l以下。

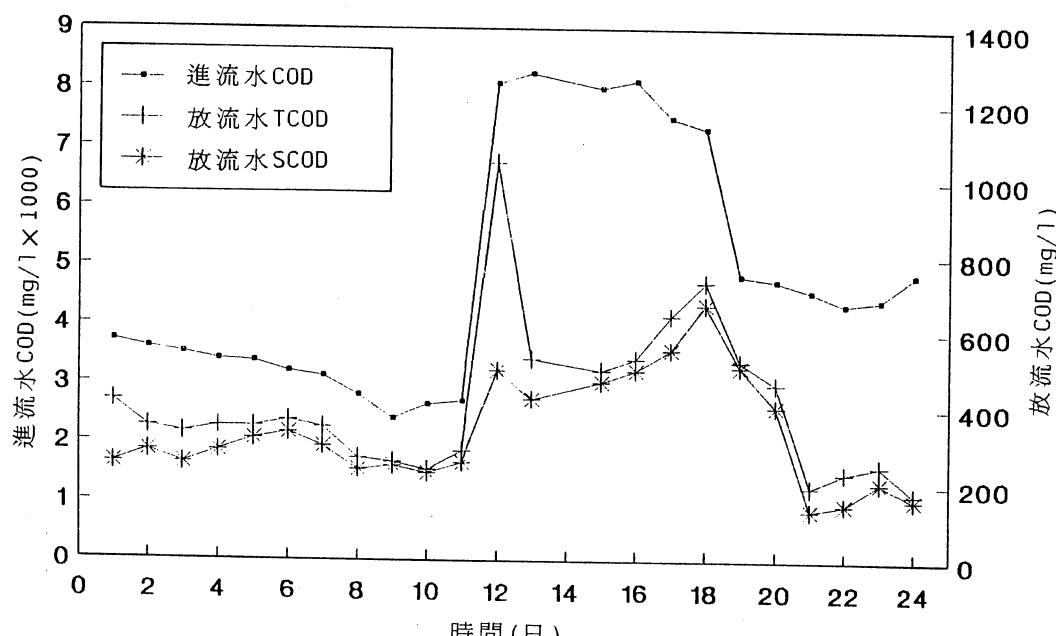


圖 9 SBR 操作期間進流水及放流水COD濃度的變化

第二階段與第三階段的容積有機負荷約在 $2\text{g/l.day}$ ：而第三階段平均SCOD去除率較第二階段高，故放流水COD值較低。由第一階段突然由進流水 $3,000\text{mg-COD/l}$ 的濃度增至 $8,000\text{mg-COD/l}$ 量，容積有機負荷量增加約1.2倍，故放流TCOD也由 $288.6\text{mg/l}$ 突增至 $1,048.1\text{mg/l}$ ，但大部是由於細菌體(MLSS)所造成。當進流水由 $8,250\text{mg/l}$ 漸減至 $7,310\text{mg/l}$ 時，放流水COD仍然往上升。此情況正如SOUR實驗中所證實廢水中含生物抑制性，當生物受到抑制時，需要一段時間才能恢復正常，在這段時間內降低槽內基質濃度有助於加快復原，但放流水COD值在短期內不會降回正常的狀況。由二、三階段的結果，證明較低的濃度可達較高之基質去除率及較低之放流水COD值，此現象亦合乎生物反應動力學的理論。

由以上實驗之整理，可知在實驗室SBR的進流水應低於 $5,000\text{mg/l}$ ，一般常用的方法是稀釋及增加進流量以達到同一負荷下操作，這樣控制可使SBR有更高的COD去除效率及較低濃度的放流水值。

### 3. 容積有機負荷與COD放流濃度及去除率的影響

整個實驗過程中，容積有機負荷由 $0.811$ 至 $2.338\text{ (g-COD/l.day)}$ 。由圖10，在前8天操作中，當負荷下降時，放流水COD濃度也漸漸降低，到第9~11天時，負荷開始上升，但放流水之COD仍然維持在低濃度，由槽內沉澱污泥容積的增加，可知此時的生物負荷並未有多大的變化，故去除效率仍可維持。但到12天的突增負荷下，放流水COD就明顯上升，雖然第13天回復到 $0.978$ 的較低容積負荷下，但是COD的放流濃度仍較之以前為高。由第12、13天的SCOD放流水濃度相差不大，但負荷相差一倍的條件下，證明生物受到抑制，而無法回復到原來的狀況之後負荷再提高，放流水COD也隨之上升。到第19天時，因進行濃度控制，由原先進流濃度 $8,000\text{mg-COD/l}$ 降至 $4,500\text{mg-COD/l}$ ，雖然負荷仍維持在 $2\text{g/l.day}$ 的水準，但明顯放流COD濃度開始下降，最後降至一較初期低負荷操作下的更低的放流水濃度。能夠達到更低的放流水質，可由三點來解釋，即MLVSS量增加，生物活性經馴養後提高及去除了 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的分析影響。由以上的結果，可知當容積負荷突增30%左右時，因生物的增殖作用及承受能力可使系統並不受影響，但當負荷突增一倍時，就明顯超負荷而使放流水COD值升高及造成生物抑制後果。

24天的操作過程中，TCOD的平均去除率為 $91.0 \pm 2.5\%$ 而SCOD平均去除率則為 $92.6 \pm 2.30\%$ 。由以上數據顯示，在 $0.816 \sim 2.338\text{g/l.day}$ 的容積負荷及進流濃度 $2,400 \sim 8,250\text{mg-COD/l}$ 的變化下，COD的去除率仍維持在一個很窄的範圍內。明顯突增負荷會使COD的去除率降低。高濃度的COD進流雖然有較高的COD去除率，但放流水COD濃度提高不能合乎標準，這時候的設計使用兩段的生物處理來達到放流標準。

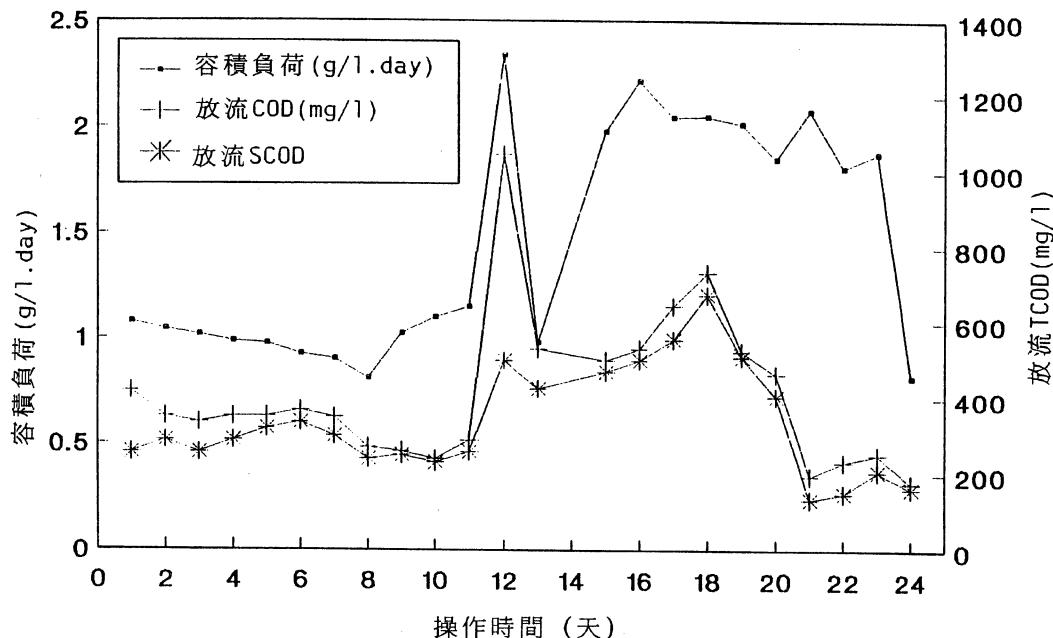


圖10 操作期間容積負荷與放流水COD的結果

由以上的結果，對廠內多變的廢水，若以SBR生物程序來處理時，COD的去除率設定在90%應合理，即大部份時間放流水均符合放流標準，而90%的去除率應可作為設計的參考值。當然在操作時可利用各種技巧以達到更高的COD去除率。就現行的放流標準及廠內排水的污染強度，進流水COD濃度設計在2,500mg/l以下是可行及安全的操作。

#### 4. 放流水COD濃度與透視度的關係

造成透視度不良的原因主要有水中的色度及濁度，對化工廠來說，排放水透視度偏低的原因是分散性的微生物體所造成。一般透視度不佳者可容易以混凝沉澱或過濾等方式來去除。但由生物菌體所引起的色度就表示其生物程序在操作方面出了問題，應由操作方面改善，操作在最適當的條件下，讓生物體能自然聚合以便沉澱去除。

由實驗室的操作結果，最佳的放流水透視度可超過30cm，一般來說放流水TCOD值愈高透視度就愈低。若以TCOD-SCOD值跟透視度作圖可得如圖11的結果。因TCOD減SCOD即代表了水中的MLSS，一般來說，1克MLSS約等於1.1克COD，如TCOD-SCOD值愈大透視度愈低，成指數型的遞減。當然並不是放流水中MLSS愈高時透視度一定愈低，這要視MLSS是否以分散的形態存在於水中。造成生物池細菌分散的主要原因有：1.太高生物有機負荷造成生物活性過高，不易聚合。2.槽內DO不足。3.毒性物質在槽內的濃度過高及4.槽內輪蟲等原生動物稀少，而一般此類生物適合生長在有機負荷較低及足夠DO的環境下，或有機質的濃度梯度較緩和的狀況，就輪蟲來說最佳的生長溫度為

25~27°C。對以上的要求條件，在SBR而言可由控制進流水COD量與進流時間延長及供應足夠的空氣（使用細氣泡散氣盤）來達成。

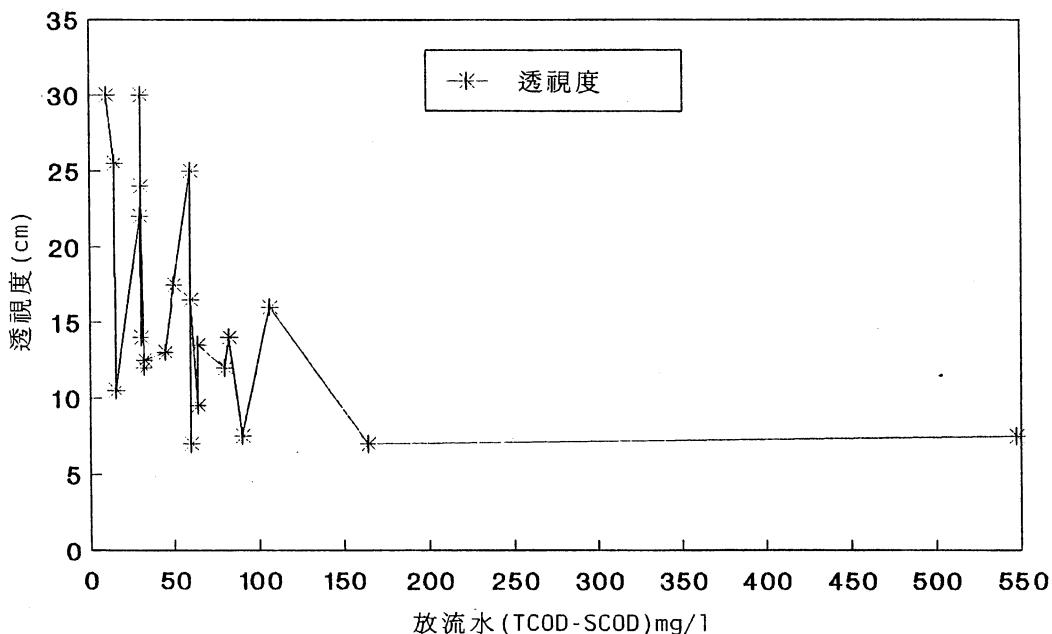


圖11 TCOD/SCOD 與透視度的關係

#### 四、現場改善過程及結果

本個案的輔導過程可大概依次分成三個過程，即現場問題了解，實驗室處理研究及現場改善，但三個階段並無明顯的分界點，如本團初勘時即帶回水樣在實驗室進行分解性的評估工作，而在實驗室處理研究階段亦每二星期一次到現場了解細部的操作方法及現場工作人員操作的困難。到第二次勘訪時，由上次採樣的生物相觀察的結果，判定現場SBR槽內基質濃度梯度過大，故建議進水時由2小時延長至6小時之後，隨著每個實驗研究的結果，經與現場操作人員討論後，評估其可行性，再更改操作程序，以下一一說明現場改善的內容方法及成果。

##### 4.1 初步建議之SBR進水條件

初勘化工廠時，由現場SBR中生物相觀查，皆為細小的細菌膠羽，沉降性差，生物相單純，並無絲狀菌及原生動物等，故首先判定現場進水時間太短，造成槽內濃度過高的現象，所以在第二次輔導時建議先把進水時間由2小時改為6小時的操作，其它階段則依舊。現場控制進流流量的方法是以繞流(by pass)的方式，如圖12所示，以手動閥門開度大小來控制繞流水量而達到控制進水的流量。由於靠經驗操作，為了解實際的情

況及SBR生物分解基質的能力，故會連續在現場SBR內取樣分析，結果繪於圖13內。由TCOD的變化可知在16:30至22:30共六小時為進水階段，跟所設定的時間相同。曝氣12個小時後，反應已達到穩定狀態，但槽內TCOD仍有 $1,405.1\text{mg/l}$ ，故去除率只有76.9%，但還剩下8小時的曝氣時間沒有下降的變化，故明顯生物受到某程度的抑制，而無法進一步把COD降低，更長的曝氣時間在此情況下並無多大的用途。

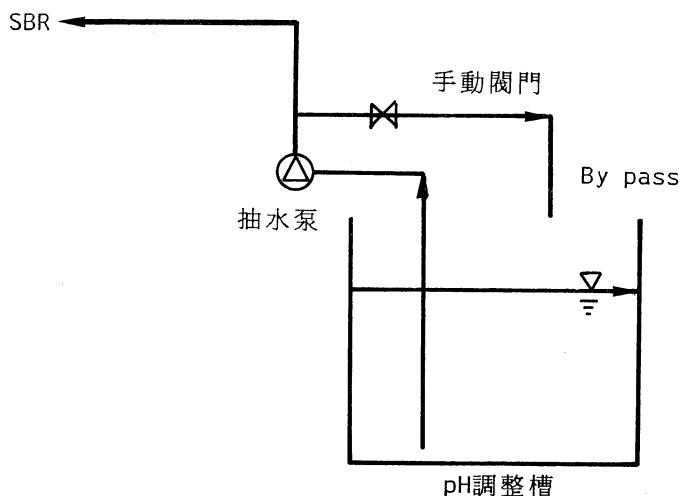


圖12 進流管線圖

進流TCOD =  $6076\text{ mg/l}$

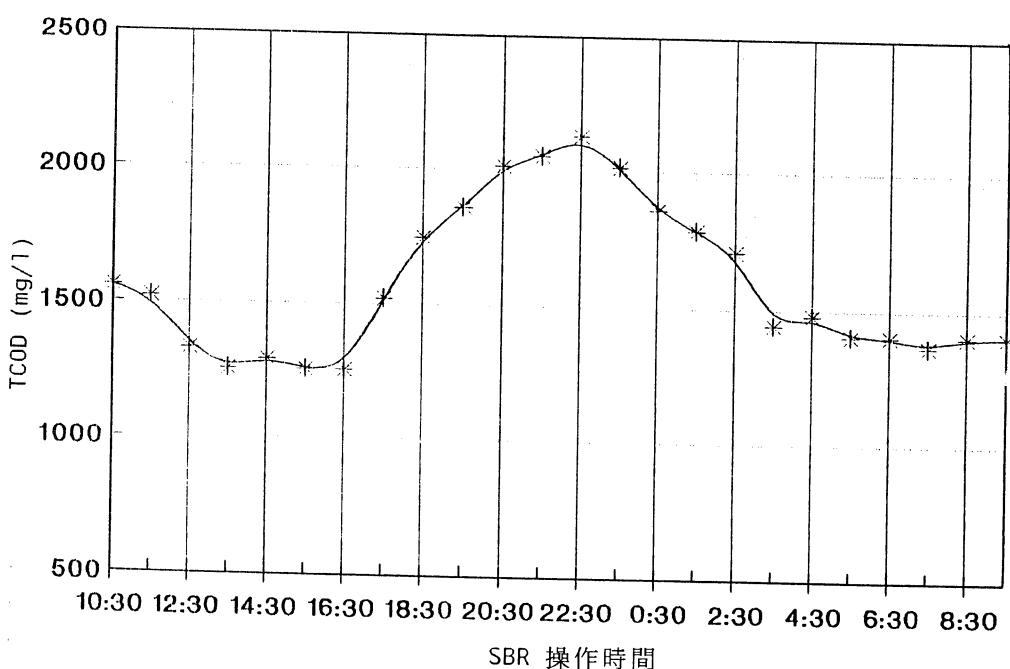


圖13 化工廠SBR內TCOD的變化情況

## 4.2 廢水前處理的改變

由實驗室的SOUR及分解實驗結果，可知甲醛廢水與氧化過的甲醛廢水可被微生物有效分解，原甲醛廢水濃度超過 $1,000\text{mg/l}$ 才會有生物抑制作用，但抑制幅度不明顯。故建議現場取消甲醛廢水的前處理氧化作業。而經現場直接進甲醛廢水後，不但節省操作人員時間及工作，對處理也無明顯的負面影響。

乳化廢水的混凝操作建議pH控制在7.0~7.5間。而由全混凝及部份混凝的結果，建議所有進流水合併後經混凝沉澱再進調勻池，此舉現場需時更改管線故在第83天才開始全混凝操作，但明顯放流水TCOD則由300 降至 $240\text{mg/l}$ 。

## 4.3 更換SBR內散氣設備及鼓風機的操作更改

現場輔導過程中曾發現SBR槽內 $\text{DO} = 0.0\text{mg/l}$ ，當時溫度 $= 27^\circ\text{C}$ 而鼓風機則啓動1台15hp，進流水濃度約 $5,000\text{mg-COD/l}$ 及已曝氣反應了18小時。鑑於日後氣溫漸漸升高，而SBR內散氣管線已有銹蝕及漏風現象，而且散氣不均勻，故建議更換。舊有的散氣盤是使用散氣錐。此類散氣盤是屬於粗氣泡式散氣設備，具有不易阻塞，壓力損失及費用低的好處，但傳氧效率低、攪拌力過強等壞處。現場於兩年前曾更換過散氣錐，經使用兩年後，雖然錐體並無變化，但錐內之隔膜逆止閥已脫落，造成部份阻塞，故散氣不均勻。

為考慮氧傳效率，故建議更換細氣泡的散氣盤。一般所謂粗氣泡散氣盤是指在清水中能產生 $6\sim 10\text{mm}$ 直徑之氣泡，而細氣泡散氣盤是在清水中能產生 $1\sim 5\text{mm}$ 直徑之氣泡。傳統細氣泡散氣盤是陶瓷散氣盤 (ceramic dome)，或剛性多孔塑膠散氣管 (rigid porous plastic tubes)，但此類散氣盤容易阻塞及初設費用高，較不適合在小型處理場中使用。三種型式散氣盤的氧傳效率與水深的關係參見圖14 US.EPA的實驗結果。明顯的當氣泡愈小，曝氣效率愈高，即單位能量所供應的量愈多，故使用細氣泡散氣盤可節省大量曝氣操作動力。

廠內更換的是穿孔膜散氣管 (perforated membrane) 而設計風量取 $300 \text{ l-air/min/根}$ 每根散氣管。

經更換散氣盤後當進流水 $3,200\text{mg-COD/l}$ 經16小時曝氣後，槽內溫度 $29.3^\circ\text{C}$ 而 $\text{DO}$ 祇有 $0.3\sim 0.7\text{mg/l}$ ，而連續幾天的 $\text{DO}$ 都在 $0.3\text{mg/l}$ 左右。後經檢討，雖然廠內自行設計的散氣系統並不盡理想，但可以用閥門來調整各管之風量，故傳氧效率不應如此低。所以問題應為送風管路分枝上。因為SBR、調勻池等共用一台鼓風機，當調勻池進水時，水位下降，故壓損減低，使風量流至調勻池，而調勻池所用的是散氣錐，壓損遠較穿孔膜散氣管低，故送往SBR的風量相對減少，造成空氣量不足。後經修正各自有獨立的鼓風機供氧後，在進流 $\text{COD} = 3,300\text{mg/l}$ ，槽內溫度 $32.7^\circ\text{C}$ 時，經16小時的曝氣後 $\text{DO}$ 可達 $4.6\text{mg/l}$ ，而17.5小時曝氣後則升至 $6.4\text{mg/l}$ 。

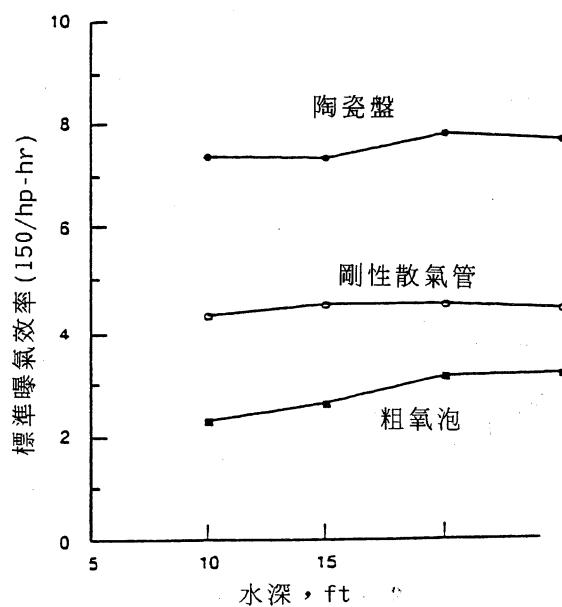
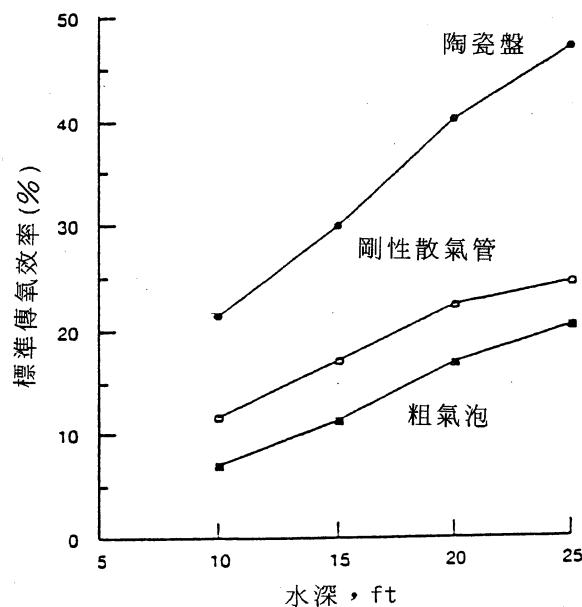


圖14 不同型式散氣盤的傳氧效率

#### 4.4 進流水COD濃度控制及結果

SBR 進水操作由 2小時改為 6小時後，COD 的去除率也由30~40%上升至80%左右。由圖15可清楚看到COD的去除率漸漸增加，但由第37天起，因為現場產量提高，使廢水質變化甚大，故由第46天起放流水的COD開始上升。由前面實驗室的SBR 實驗結果，SCOD的去除率應可達90%以上。但由於現場進流水質變化太大，COD由629mg/l至9,508mg/l(參見表8)，故生物無法承受衝擊，故放流水COD大幅上升和變化，所以首要的工作是要維持進流水在某程度下穩定性。

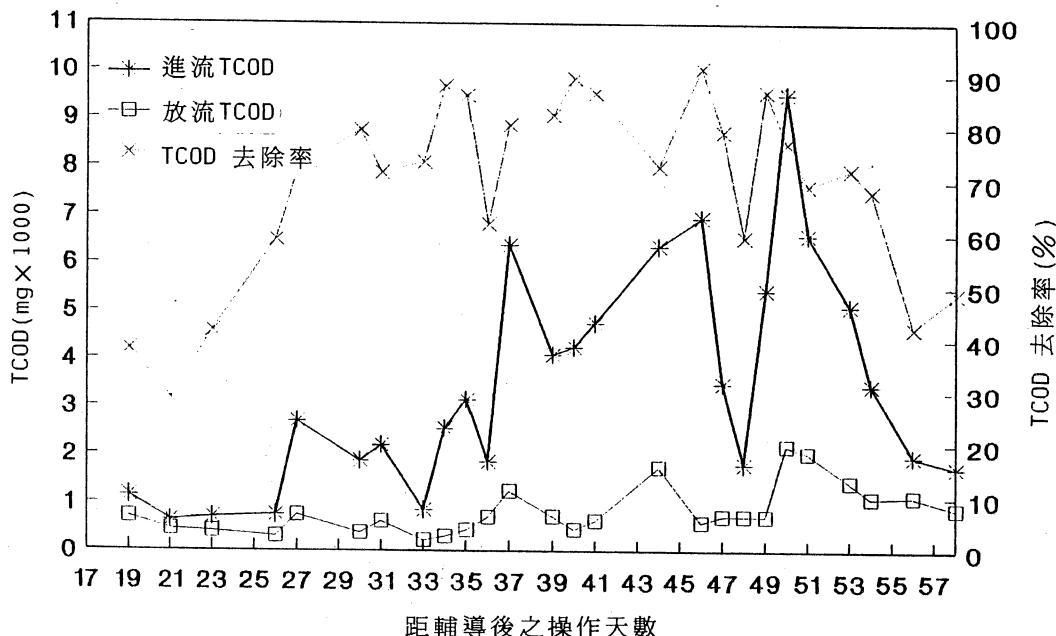


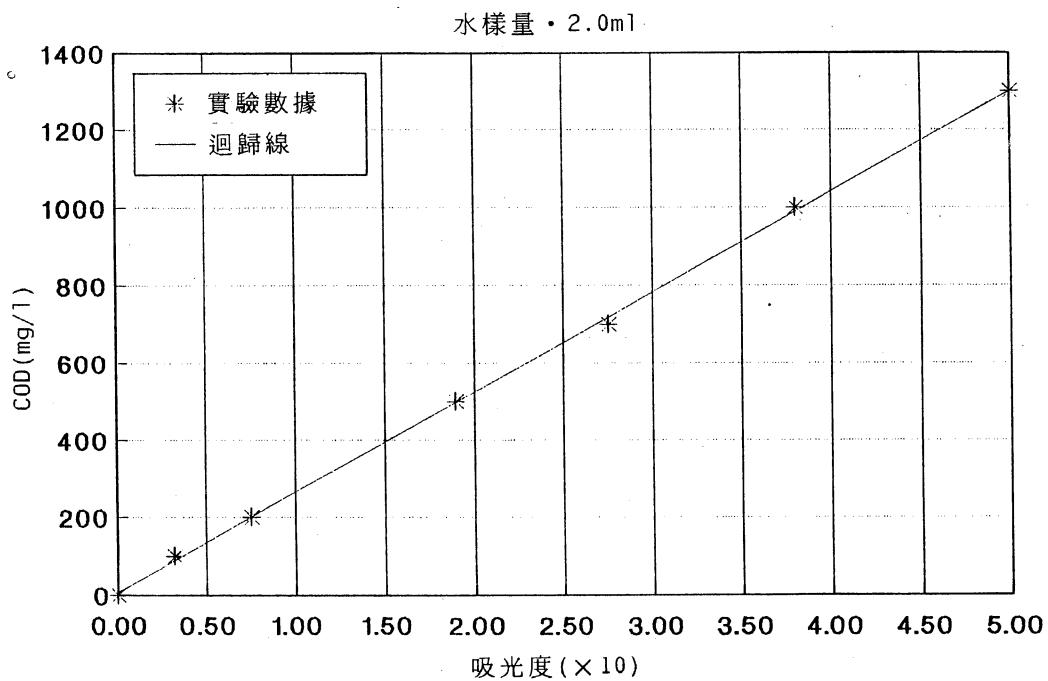
圖15 現場廢水處理操作之結果

要維持進流水的穩定性，則必須要了解各股廢水水質，若以傳統的COD分析方法及現場的作業情況，無法達到監控的目的。COD分析的準確在進流水的監控上並不要求嚴格，但分析速度及簡易性是現場操作人員接受與否的關鍵。經考量以上的需求後，故嘗試以簡易COD即以比色的閉合迴流的比色方法(closed reflux clorimetric method)代替傳統式COD的分析，以快速及簡易的操作求取當天各股廢水的COD值，然後固定進流水值(如3,000mg/l)後則可以計算各股廢水當天的進流量。

表8 現場SBR 操作的結果

相relative初勘 日期的操作天	進流 COD (mg/l)	進流 pH	放流 COD (mg/l)	放流 pH	去除率 COD (%)
19	1,140.0	7.3	705.4	7.30	38.1
21	629.0	3.8	448.3	6.6	28.7
23	692.7	7.1	404.0	5.9	41.7
26	747.0	7.1	307.0	6.2	58.9
27	2,682.0	6.7	749.0	6.5	72.1
30	1,854.0	6.6	380.3	7.7	79.5
31	2,178.5	6.7	620.0	6.4	71.5
33	847.0	6.7	224.0	7.0	73.6
34	2,529.0	6.4	305.0	6.4	87.9
35	3,130.0	5.3	434.0	7.3	86.1
36	1,841.0	5.7	701.0	7.4	61.9
37	6,370.0	5.1	1,242.0	7.4	80.5
39	4,085.0	7.3	720.0	7.4	82.4
40	4,250.0	4.0	448.0	7.4	89.5
41	4,750.0	4.9	632.0	7.3	76.7
44	6,350.0	5.2	1,733.0	7.2	72.7
46	6,947.0	4.1	597.0	6.6	91.4
47	3,478.0	7.1	723.0	6.5	79.2
48	1,789.0	6.7	725.0	6.7	59.5
49	5,440.0	6.0	715.0	6.7	86.9
50	9,508.0	5.5	2,178.0	6.9	77.1
51	6,593.0	5.4	2,030.0	6.5	69.2
53	5,114.0	6.4	1,425.0	6.9	72.1
54	3,447.0	8.7	1,100.0	7.4	68.1
56	1,955.0	7.5	1,128.0	6.5	42.3
58	1,721.0	7.3	880.0	6.5	48.9

為要了解簡易COD的準確度，首先以 $C_8H_5KO_4$ ( anhydrous potassium biphthalate)配裝成各種COD濃度，然後在波長620nm下比色，做成率定曲線(calibration curve)(圖16)。從現場採取各股水樣進行簡易COD的準確度分析，在不同加熱的時間下進行比色，以了解各股廢水的COD比色特性及可接受的加熱時間。表9是乳化，胺類及調勻池廢水的COD分析結果，若以3個小時加熱的COD結果為準，則10分鐘加熱後，胺類廢水已達100%的回收率，而其餘兩種廢水的回收率也有82.9%以上(參見圖17)。故採用10分鐘以上的加熱時間就已經足夠判斷各股廢水的COD濃度，而整個分析過程不需要30分鐘。



$$\text{Equation: Conc.} = 6.1473 + 258.744 \cdot \text{Abs}(X10)$$

圖16 簡易COD的率定曲線

表9 以簡易COD分析現場各股廢水的結果

廢水名稱	加熱時間 (min)	10	30	3 (hr)
乳化廢水		497.8	523.6	601.3
胺類廢水		101,524.9	98,937.5	98,937.5
調勻池廢水		943.8	1,124.9	1,124.9

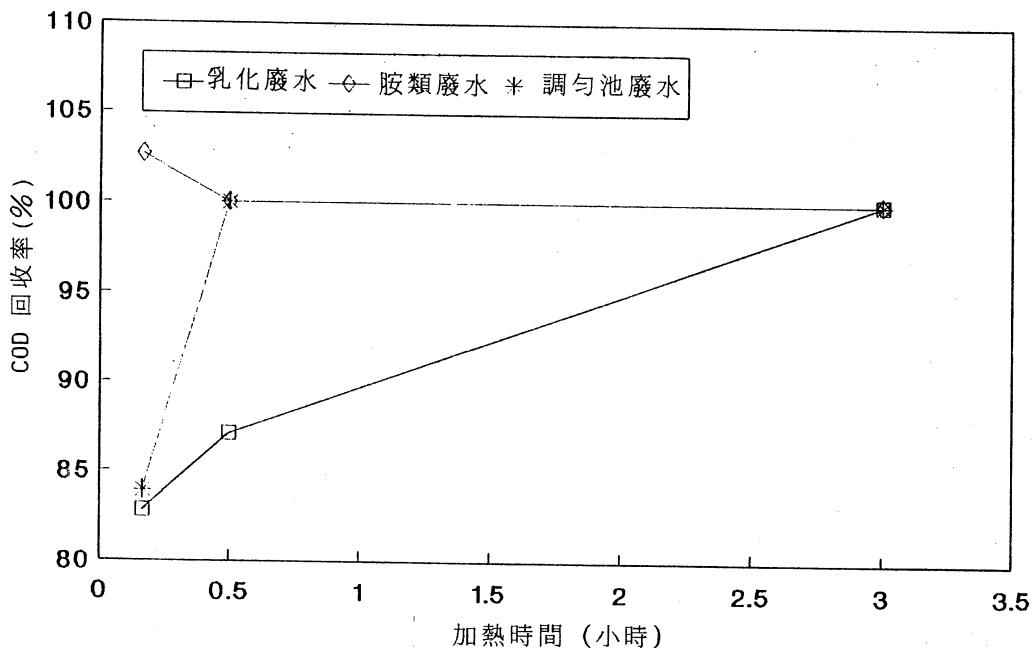


圖17 各股廢水的簡易COD 在不同加熱時間下結果

經預先分析各廢水COD濃度後，各股廢水進流水量之決定方法原則為（設進流水之COD 3,000mg/l）

1. 若乳化廢水混凝後低於3,000mg/l-COD，則不需稀釋，否則應稀釋至3,000mg/l以下，進流量可增加至60CMD。
2. 每天產生之乳化廢水若低於50CMD時，則全量進流。
3. 胺類廢水以去除率50%，以其影響放流水水量的程度來計算應加入之水量。
4. 設稀釋水中COD=0mg/l。
5. 設每股廢水的COD濃度在當天沒有變化，即測定值為當天的進流值。

現場利用以上簡易COD控制進流水濃度，從第65天開始控制進流水，使放流水 COD隨即降至480mg/l，經四天的操作後，COD已降至290mg/l放流水標準內，但此時透視度仍距標準很遠，放流水中仍有大量分散菌體。圖18及表10是整理從開始進流水控制至第89天的操作及處理結果。截至第89天止，三股廢水都排入SBR時，放流水的TCOD=239mg/l、SCOD=194mg/l、SS=49mg/l及透視度達17.5cm（此水樣是送至合格檢驗室分析之結果），已合乎現時放流水標準。經控制進流水後的平均TCOD去除率為86.2±7.9%，較未控制時69.5±17%為高，且變化低。若能繼續操作在穩定狀態，減少放流水中SS量及提升SBR槽內MLSS量 (MLSS=2,340mg/l, MLVSS=1,825)至3,500mg/l時，則應可達到82年標準。

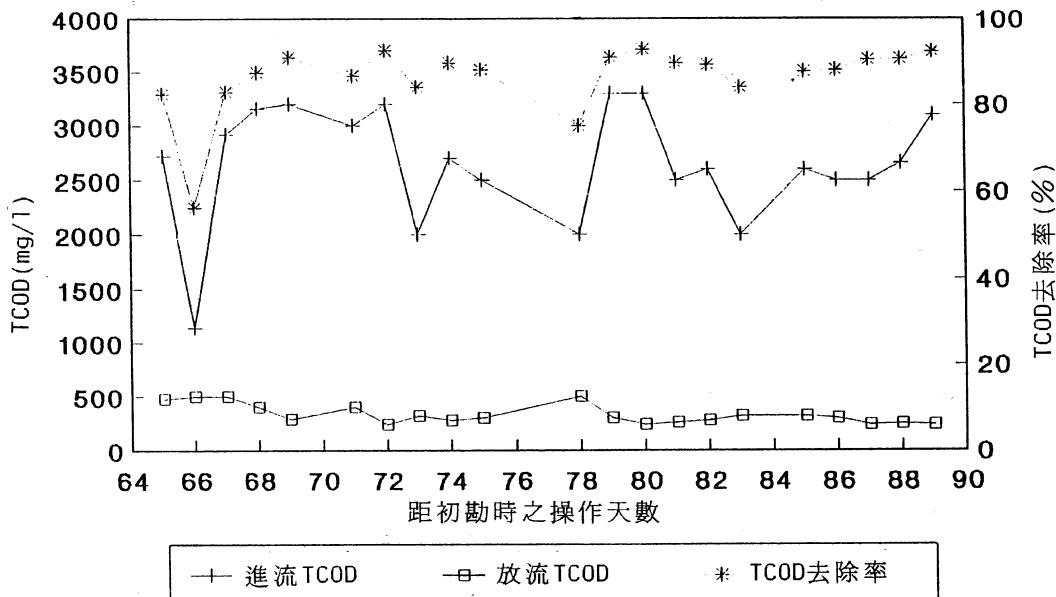


圖18 實行進流水濃度控制後的現場處理結果

表10 現場操作改善的結果

現場 操作 天數	乳化廢水混凝		甲醛廢水		胺類廢水		稀釋 水量 (m³)	進流 水量 (m³)	進流水 COD (mg/l)	放流水 COD (mg/l)	去除率 (%)	放流 透視度 (cm)
	COD (mg/l)	進流量 (m³)	COD (mg/l)	進流量 (m³)	COD (mg/l)	進流量 (m³)						
65	500	35	102,000	1.2	---	---	13.8	50	2,720	480	82.4	25
66	1,200	35	108,000	1.0	---	---	14.0	50	1,140	500	56.1	---
67	790	35	104,000	1.2	---	---	13.8	50	2,920	500	82.9	---
68	1,630	35	142,000	0.8	---	---	14.2	50	3,160	400	87.3	3.5
69	1,820	35	152,000	0.5	---	---	14.5	50	3,200	290	90.9	---
71	910	35	142,000	0.8	---	---	14.2	50	3,000	400	86.7	---
72	1,500	35	142,000	1	---	---	14.3	50	3,200	240	92.5	---
73	620	35	135,000	0.7	---	---	14.3	50	2,000	320	84.0	---
74	1,200	35	142,000	1.1	---	---	13.9	50	2,700	280	89.6	7.0
75	750	35	102,000	0.9	---	---	14.0	50	2,500	300	88.0	---
78	---	--	102,000	0.5	---	---	---	50	2,000	500	75.0	---
79	1,100	35	79,000	---	---	---	13.5	50	3,300	300	90.9	17
80	1,100	35	67,000	2	---	---	13	50	3,300	240	92.7	9
81	1,100	35	67,000	2	---	---	13.5	50	2,500	260	89.6	8
82	1,100	35	67,000	2	---	---	13.5	50	2,600	280	89.2	8
83	900	35	52,000	1.5	---	-.3	13.2	50	2,000	320	84.0	---
85	900	35	52,000	1.5	---	-.3	13.2	50	2,600	320	87.7	---
86	900	30	52,000	1.5	---	0.3	18.2	50	2,500	300	88.0	8
87	900	30	56,000	1.5	---	0.3	18.2	50	2,500	240	90.4	11.0
88	900	30	56,000	2	---	0.5	17.5	50	2,600	250	90.6	14.0
89	110	35	6,700	2	---	0.5	14	50	3,100	239	92.3	175

從第85天開始把進水時間延長至12小時。因為由菌相觀察，雖然COD的去除率已上升，但放流水濁度仍偏高，此因為污泥中仍未完成培養出原生動物及輪蟲等，要培養此類微生物必須把槽內基質濃度再降低。到第89天再觀察槽內菌相已發現纖毛蟲類等多種游動性原生物及少量絲狀菌的出現。

由跟現場操作人員的討論，可知這種控制方法仍可被接受，而因對水質操作的深一層了解及實際的成果，操作人員對廢水處理的興趣愈來愈濃及心得也愈來愈多。雖然此種操作工作量比較多及繁些，但這種詳細的數據，對現場操作及製程的控制很有用處。一般這類中小型化工廠，因產品種類多，廢水變化大，若現場製造中出問題，如原料漏出或產品未放完就清洗反應鍋等，此時不管廢水處理現場如何控制也無法妥善處理。

#### 4. 現場改善成果

在三個月的輔導後，化工廠的廢水處理系統功能改善的主要項目及成果如下表11。

表11 化工廠內經本團輔導前後之主要改善內容

改善項目	未改善前	改善後
TCOD (mg/l)	>1,500	239
透視度 (cm)	<2.5	17.5
胺類廢水	預備以活性碳吸附處理	排入SBR 內處理
甲醛廢水	以NaOH及H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 氧化前處理	無須前處理
氮源加量(kg/day)	5	0
磷源加量(kg/day)	7	<3
鼓風機耗電量(hp)	30	<17.5

由上表可得經本團輔導後，化工廠內廢水排放可符合現時放流標準，證明該處理系統已充份發揮其功能，此外因操作改善，不但減低操作費用也減少了操作人員的工作量，簡化了操作之程序。

### 五、實驗室結果與現場的操作結果差別

在工程中常碰到與實驗室研究結果不符的設計。在實驗中可以處理或能夠在高負荷操作下處理，實際上可能碰到很多設計或操作上的問題，甚至無法預期般可行處理或達到較高的負荷。故本部份針對化工廠內的廢水，在實驗室的生物處理(SBR)與現場實際操作的結果，做一比較及探討其主要之異同，以了解兩者之差別及實驗室可能提供現場那一方可用的資訊及其達到的再現性程度。

### 5.1 進流水水質的穩定度

進流水水質應指存在於廢水中各種有機化合物，無機化合物及物理性質如溫度等。若工廠有固定的製程及產品，構成廢水中的化合物種類應固定，但可能在數量比方面隨時間而有限度的變化。此種廢水祇需要有足夠停留時間的調勻池，即可使進流水水量及水質達到有限變化的控制。但如化工廠的情況，由於每天每星期生產的產品種類及數量都可能在變，故水質及水量的突變程度很大，此類情況難以用單一的調勻池方法來達到均勻的目的。

由每一次從現場採回的水樣，均可供實驗室內操作二星期之久，故對於模型實驗，進流水中化合物組成幾乎沒有變更，唯一變化者是有機負荷的刻意改變，但現場每天都承受水質的變化，故微生物的穩定度較低，對進流水COD的改變較敏感。SBR在實驗室開始操作時TCOD的去除率已達到88%以上，而一星期後透視度也能達到17.5cm；雖然現場在進流水COD濃度控制操作下，到第四天TCOD去除率也達87.3%，但透視度則需要到三星期後才能明顯達到17.5cm的水準，即污泥達到穩定的程度需要較長的時間。實驗室的平均TCOD去除率為91.1±2.5%，較經進流水控制下的穩定度較高，若未進行進流水濃度控制者，其TCOD去除率為69.5±17%，較之更低及變化更大。

由以上的結果，實驗室與現場固定進流水的TCOD去除率雖相差不遠，但實驗室結果明顯較為穩定，因現場只能對COD來固定，但構成COD的物質則無法控制。

### 5.2 溫度與DO的控制

溫度與DO控制在實驗室內幾乎不是問題，但在現場操作時卻是最傷腦筋的事情。實驗室操作時，溫度在20~25°C內，非常適合微生物的生長，而DO可無限制式的供應，倒是經常因過份供氧，槽內DO經常維持在5.0mg/l以上，甚至可達超飽和的程度，故實驗室中常發生生物硝化現象。但現場因在室外操作，受天氣影響，鼓風機一經設定，變更困難，若要加大風量，除要更換鼓風機外，送風管線及散氣設備等均需更換。此外，空氣經鼓風機送出後，因部份機械能轉變成熱能，故空氣的溫度可達60°C以上，就現場的情況，場外溫度為34°C時，槽內水溫可達35.5°C。

由於溫度上升，氧傳送效率大減及飽和氧濃度降低，使供氧的情況惡化，常有DO接近0.0mg/l的情況。現場對此問題難以用簡單的操作方式來解決。降低負荷雖然可緩減氧不足，但進流量減少就無法與產生量平衡。此外高溫時，生物活性較大，污泥沉降性較差，也不適合輪蟲等微生物生長，故放流水濁度上升。

### 5.3 槽內MLSS及有機負荷的差別

由於實驗室設備規模小，而且反應槽為透明材料，容易觀察到污泥的沉降情況及取出上澄液時可避免污泥流失，故槽內MLSS可維持達5,000mg/l的濃度，而SRT也可以隨意用排泥的方式來控制，過程完全「有目共睹」。現場SBR槽內MLSS以兩種方式流失，即懸浮性污泥隨上澄液放流，而沉澱污泥因放流時亂流擾動而帶出，除非污泥的沉降性很

好，才能有污泥增殖，否則槽內MLSS無法提升。表12是近期污泥沉降性較佳情況下，槽內MLSS濃度的變化。雖然污泥有增長，較之實驗室之結果其生長速度很慢，而且期間沒有排泥操作，故應是流失所致，此問題廠內現以多次排放方式未改善。

表12 化工廠現場SBR內污泥濃度的變化

污泥量／操作天數	67	82	89
MLSS (mg/l)	1,915	2,020	2,340
MLVSS (mg/l)	1,480	1,595	1,825
MLVSS/MLSS(g)	77.3	79.0	78.0

實驗室容積有機負荷控制於  $0.811\sim 2.338\text{g/l-d}$  間，而現場經進流水控制下，容積有機負荷為  $0.75\text{g/l-d}$  (以進流水  $\text{COD}=3000\text{mg/l}$  來算)。故實驗室的容積負荷較現場的可高出 2倍的量。但由污泥有機負荷來算，現場的為  $0.37\text{g-TCOD/g-MLSS.d}$  (以  $\text{COD}=3,000\text{mg/l}$ ,  $\text{MLSS}=2,000\text{mg/l}$  算)，而實驗室的則為  $0.4\text{g-TCOD/g-MLSS}$  (以  $2\text{g/l-d}$  及  $\text{MLSS}=5,000\text{mg/l}$  算)，故兩者的生物負荷相差不遠， $\text{COD}$  的去除結果也接近，但在控制槽內MLSS濃度方面，兩者的效果相差較大。

## 六、結論

本次化工廠廢水處理深入輔導，由初次現場勘訪時，放流水中  $\text{TCOD}=1,500\text{mg/l}$  而透視度則為  $2.5\text{cm}$ ，經三個月來現場操作調查，廢水特性研究、實驗模型試驗及結果應用現場改善，到輔導後第89天止放流水的  $\text{TCOD}=239\text{mg/l}$ ,  $\text{SCOD}=194\text{mg/l}$  及透視度 =  $17.5\text{cm}$ ，已符合現時放流水標準，獲得具體改善成效。而廠內的改善意願及全力配合是成功的主要因素。

這次改善最重要有三點：1. 進流水  $\text{COD}$  濃度的固定，2. SBR 進水時間的延長及 3. 氧傳送量的提高。在進流水  $\text{COD}$  濃度固定工作中，是使用簡易  $\text{COD}$  作為各股廢水進水前之監控工作，把進流水的  $\text{COD}$  控制在  $300\text{mg/l}$  左右。SBR進水時間由2小時改為6小時，再改為12小時，以減低槽內濃度梯度的變化，以利細菌外其它微生物的生長。而氧傳送量的改善是把粗氣泡式散氣盤換成細氣泡的散氣管，並將 SBR及調勻池曝氣系統分開，以固定 SBR的空氣供應量。

由實驗室模型及現場 SBR操作的結果比較，兩者的主要分別有：

1. 兩者的生物有機負荷約相等，實驗室與現場的分別為 0.37 及 0.4g-TCOD/g-MLSS-d 而平均 TCOD 去除率分別為 91.1 ± 2.5% 及 86.2 ± 7.9%。
2. 現場水質有機成份變化大，需較長的時間才能達到透視度超過 15cm，而 TCOD 去除率的穩定度亦較低。
3. DO 與溫度是現場操作的最困難問題，SBR槽內因氣候及鼓風機送風溫度的影響而提高，因使 DO 濃度較低及放流水濁度較高。
4. 由於現場 SBR 放流口設計不良，而使槽內污泥流失，故生物增長量較實驗室中慢，且無法維持高濃度之生物量。

本案在硬體設施上僅做小部份修改，主要改善成果來自管理及操作策略之改善，由本案強烈印證國內污水處理廠操作、管理一般能力之缺乏。於本案執行之初，化工廠對既有設施之功能原抱有極大之懷疑，但經本團輔導獲得改善效果之後，方真正體認操作、管理於廢水處理中之重要性並重拾對該廠廢水處理之信心及興趣。故本案執行之成功非僅僅為一輔導案例，其中產生之教育意義實為更大之成果，更可促使環工界及業界除在硬體技術之研發外，更加重視操作、管理之軟體技術，唯有在軟、硬體相互配合下，才能獲得真正地成功。

## 七、參考資料

- (1) 鄭幸雄等，工業廢水生物可處理性鑑定技術研討會，工研院化工所污染防治研究組，1988 o
- (2) 邱創汎、鄒文源，批式活性污泥法的數學模擬及設計原則研究，第14屆廢水處理技術研討會論文集，PP.105~120，1989 o
- (3) 邱創汎，批式活性污泥法處理技術，工研院成果發表資料，1991 o
- (4) 邱創汎、鄒文源、劉有清，高濃度含苯環類廢水喜氣處理 - 案例研究，第14屆廢水處理技術研討會論文集，PP.89~103，1989 o
- (5) 葉俊宏，連續回分式活性污泥法(SBR) 處理特性之研究，中央大學土木工程研究所碩士論文，1986 o
- (6) U.S.EPA, Sequencing Batch Reactors-Summary Repo, EPA/625/8-86/011, 1986 o
- (7) U.S.EPA, Fine Pore Aeratian Systems-Design Mansl, PA/625/1-89/023, 1989 o
- (8) Dennis R.W & Irvine R.L , Effect of Fill: React Ratio an Sequening Batch Biological Reactors, J.WPCF Vol.51, No.2, pp225~263, 1979 o
- (9) Hoepker E.C. & Schroeder E.D (1979), The Effect of Loading Rate on Batd Activated Sludge Effluent Quality, J.WPCF Vol.51, No.2, PP264~273, 1979 o
- (10) Irvine R.L & Busch A.W. , Sequencing Batch Biological Reactors-an Overview , J.WPCF. Vol.51, No.2, PP.235~243, 1979 o
- (11) Standard Methods for the Examination of Water and WasteWater 16ed. 1985 o