

## 預鑄式建築物污水處理設施功能測試方法之研究

范煥榮<sup>1</sup>，黃文鑑<sup>1</sup>，王春鎮<sup>3</sup>，謝文彬<sup>3</sup>，黃宗基<sup>2</sup>，廖振標<sup>3</sup>

### 摘要

國內下水道系統尚未普及，導致市政污水無法有效集中處理，並嚴重污染河川、湖泊等水源，行政院環保署為防治水污染，確保水資源之清潔，目前正推動「水污染防治法施行細則」第四十七條之建築物污水處理設施之管理，同時針對預鑄式建築物污水處理設施訂定處理功能審核作業要點，規定預鑄式建築物污水處理設施之製造、操作、設置等均須符合功能要求。本文主要是針對預鑄式建築物污水處理設施之功能性，建立一套測試方法，測試內容包括清水水力測試及實際運轉污水測試，冀提供業界於設計、製造及試車之參考。

水力測試之項目包括各槽體之短流現象、水流流速、攪拌混合性能測試及曝氣之溶氧擴散(傳輸)係數( $K_L$ )等。測試方法及原理是採用脈衝式追蹤劑試驗(Tracer Test-pulse input test)。實際進流污水運轉測試方法是先進行污泥馴養，並於系統穩定後進行污水連續運轉測試，同時在測試結束後測量各槽體累積之污泥體積。

本研究以每日處理 $17.5\text{ m}^3$ 之槽體(75人份)為對象，就清水水力測試所獲得之各參數，進行槽體短流現象、攪拌混合性能及溶氧曝氣效果等功能評估。此外，亦將針對實際進流污水運轉期間所分析之各項水質參數變動情形，綜合評估處理槽體之功能性，並據此研判是否符合環保署要求之標準。

### 一、前言

為改善一般家庭生活污水之排放水質，彌補國內下水道尚未普及，並配合未來下水道興建之需，內政部營建署已於新修訂建築技術規則，刪除有關化糞槽之設置規定，並規定所有建築物應全面改採污水處理設施。依環保署預鑄式建築物污水處理設施審核作業要點之規定，預鑄式建築物污水處理功能設計規格，得依建築物污水處理設施設計技術規範建造，如未依前述規範設計，則製造者應提出產品規格與功能報告書。

目前行政院營建署要求建築物需裝設預鑄式污水處理設施，同時此一設施之功能在裝設前需取得環保署審查核可，其中包括清水測試和實施污水處理測試。測試主要目的在於了解預鑄式污水處理設備之中各單元之流況與短流和滯留現象，以作為評估各反應槽實際處理污水之功能。因此本研究目的在建立利用追蹤劑測試預鑄式建築物污水處理設備之標

1. 弘光技術學院環境工程學系助理教授
2. 弘光技術學院環境工程學系研究助理
3. 弘光技術學院環境工程學系兼任研究助理

準程序，同時利用實際進流污水，分析處理效率，以輔證處理槽之功能。所獲結果除提供廠商設計和改善處理設備之依據，並作為環保單位評估和審定建築物污水處理設備功能之參考。

### 二、實驗方法

本實驗所測試之對象為為一橫座向圓柱體，直徑和長度分別為約為2和5.6公尺。

#### 2.1 各處理單元之短流及攪拌混合性能試驗

本測試項目是採用脈衝式追蹤劑試驗(Tracer Test-pulse input test)，將適量追蹤劑(本試驗採NaCl)以脈衝式(pulse)注入方法，利用泵瞬時注入各測試槽體之進流口，隨即在出流口以導電度計連續監測水中之導電度，再換算成相當之Cl濃度。將取樣時間與水中Cl濃度作圖，並根據數值分析，求出 $t$ (mean residence time)、 $m_r$ (mass of tracer recovered)和 $N_{STR}$ (number of reactors)等參數，各參數及代表物理性意義列於表1中，各參數之計算式如下：

$$m_T = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} t_i C_{pi} \Delta t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} C_{pi} \Delta t_i} = \frac{V_R}{t} \sum_{i=1}^{i=n} C_{pi} \Delta t_i$$

式中  $t_i$  表示取樣時間

$C_{pi}$  表示水分析之 Cl 濃度

$\Delta t_i$  表示兩次取樣間距

Q 表測試流量

$V_R$  表測試槽體積

首先利用加入適量亞硫酸鈉及氯化亞鈷，祛除清水溶氧。加入前先測定水中溶氧濃度，依濃度計算所需添加之  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  及  $\text{CoCl}_2$ 。

$\text{Na}_2\text{SO}_3$  添加量(mg)=溶氧濃度(mg/L) × 槽體積(L) × 8 × 1.2

$\text{CoCl}_2$  添加量(mg)=溶氧濃度(mg/L) × 槽體積(L)

在清水溶氧降至趨近零時，開啟曝氣裝置(鼓風機、曝氣量 70 L/min)，並立即計時讀取溶氧計之讀數，原則上每 10 秒記錄一次，待溶氧達到約 7~8 mg/L 濃度時(約飽和溶氧量  $C_s$  之 80~90%)，停止曝氣，結束記錄。將記錄數據，以不同時間之氧未飽和值( $C_s - C$ )對時間依半對數作圖，並取其斜率，即為處理槽內清水之質量傳送係數， $K_L$  值。

### 2.3 實際污水運轉測試方法

測試水樣採弘光技術學院女生宿舍化糞池污水，水樣先以沉水泵抽送至污水貯槽(27m<sup>3</sup>貯槽)，同時利用空壓機打入空氣達到攪拌混合效果，時間約維持五分鐘。再者，由貯槽取水口取樣，先行分析原水基本水質，包括水溫、pH 值、溶氧量(D.O.)、懸浮固體物(S.S.)、生化需氧量(BOD)、化學需氧量(COD)及大腸桿菌等水質參數。水樣經由定量泵，以 19.2 升/分鐘流量(約 1.5 倍平均日流量)打入處理槽之入水口，每日持續 24 小時進行運轉測試。試驗初期，先行利用植種方式，將適量植種污泥(約 80 公升)加至接觸曝氣槽，同時將進流水流量控制在 9.6 升/分鐘(約 1/2 測試流量)。待完成污泥馴養後，提高進流污水量至正常測試流量，並定時取進、出水水樣，進行基本水質分析。持續進行約 5 個月後，停止進流污水，靜置數天，使各槽內之污泥沉降至底層，將各槽內上層澄清液以蠕動泵抽出，量測沉降污泥體積，並取樣分析污泥固體的含量及進行污泥沉降性分析，藉此推估測試期間累

積生成之污泥量。

## 三、結果與討論

### 3.1 清水水力試驗結果

圖 1 至圖 6 為各槽體單元經過脈衝式追蹤劑試驗結果，其中計算獲得之平均滯留時間、短流現象及攪拌混合性能，綜整於表 2 和表 3。首先由初級沉澱槽之追蹤劑濃度分佈圖得知，在平均日進流量(12.75 L/min)初沉槽之平均滯留時間(mean residence time)為 5.52 小時，追蹤劑之回收率為 91.05%，顯示初沉槽流況良好。另  $N_{CSTR}$  實驗值為 2.35，對照表 1 之物理性意義顯示槽內流況介於連續混合槽(CSTR)及填充柱狀槽(PFR)，對於進流量 38.25 L/min 之測試結果，平均滯留時間為 2.73 小時， $m_T$  回收率 98.76%， $N_{CSTR}$  實驗值為 2.38，顯示初沉槽提高進流量至 38.25 L/min，槽體除平均滯留時間減短外，流體仍可保持良好流況。

接觸曝氣槽在平均日流量下，槽體之追蹤劑試驗結果平均滯留時間為 5 hr、回收率  $m_T = 99.48\%$ 、 $N_{CSTR} = 2.18$ ，代表槽體流況較接近連續攪拌混合槽(CSTR)，此現象主要是流體受曝氣攪拌及槽內填充有濾料接觸材所致。此外，平均滯留時間測值與一般活性污泥槽操作之停留時間(4-8 小時)，及接觸曝氣槽(0.5-2.0 小時)相比，顯示應能符合微生物分解代謝所需時間，再者，本槽體內填充有濾球式濾材，在功能上偏向於接觸曝氣槽。因此在提高進流水量至 38.25 L/min，雖造成平均滯留時間降低，但仍有 2.94hr。

最終沉澱槽，槽內平均滯留時間=2.45 hr、 $m_T$  回收率=83.63%、 $N_{CSTR} = 3.2$ ，試驗結果顯示本單元有充足滯留時間，另追蹤劑回收率約 83.63%，表示槽體流況屬正常流況。此外對進流量 38.25 L/min 之測試結果，平均滯留時間為 3.08 小時， $m_T$  回收率=105.4%、 $N_{CSTR} = 1.93$ 。表示槽體有輕微滯流現象，因為平均滯留時間較理論滯留時間長約 50%。

再者，由曝氣槽之溶氧傳輸係數( $K_L$ )測定結果，由分析數據之迴歸方程式得出  $K_L$  值為 10.45 hr<sup>-1</sup>，與其他曝氣系統相比，顯示槽體之曝氣效果良好。

### 3.2 實際進流污水測試結果

本處理槽利用進流生活污水進行功能測試，測試期程分為兩個階段：(一)污泥馴養期；藉由在接觸曝氣槽添加植種污泥，利用溶氧測值研判微生物生長活性，同時以降低污水進流量及減少或停止污泥迴流等方法，使系統逐漸趨於穩定。(二)穩定運轉測試期；調整正常進流污水量及污泥迴流量，同時藉由水質採樣、檢測結果，評估系統連續操作之穩定性。再者，針對污水測試期間槽體內累積或生成污泥量評估，主要是量測各槽體內之污泥累積體

積及藉由分析污泥固體物含量推估污泥重量。茲將二階段操作測試結果分述如下：

本測試槽體之污泥馴養期所需時間約為十週，主要是因本槽體之接觸曝氣槽體積較大，初期添加物之植種污泥量不足，致使出流水之 S.S. 及 BOD 濃度偏高，曝氣槽內植種污泥未於填充多孔環球上之生物膜生成。約二週後，再於曝氣槽添加 80 升植種污泥，同時調降進流水量，曝氣槽內之馴養微生物方逐漸生成。圖 7 為污泥馴養期間之溶氧變動情形，初期原污水溶氧量約在 1.5~4.5 mg/L，經處理槽後，尤其是接觸曝氣槽，出流水可提高至 5.2~7.4 mg/L，顯示本槽體之曝氣溶氧傳輸效果良好，與清水之溶氧傳輸係數(K<sub>L</sub>a)測定結果相符。在馴養後期階段，出流水之溶氧略為降低(約 4~6 mg/L)，此現象可能是因接觸曝氣槽內已有生物作用，消耗掉部分溶氧所致。再者，BOD 的變動(圖 8)顯示，在污泥馴養初期進流水 BOD 控制在 200~570 mg/L，出流水約在 100~470 mg/L 範圍，槽體對有機污染物之去除未發生功效，主因可能是接觸曝氣槽內尚未有生物作用，同時進流污水中含有部份之有機懸浮固體物，在槽體啟動初期，由於沉降性不佳，致使出流水之 BOD 總測值偏高。而在馴養後期即逐漸有 BOD 降低情形，由出流水之 BOD 分析結果，發現系統已逐漸趨於穩定。另外，針對 SS 分析結果(圖 9 所示)，馴養期之前幾日出流水 SS 約在 120~300 mg/L 超過規範標準 80 mg/L，其餘時期分析值可降至 18~68 mg/L 濃度範圍。此可能是導入污水初期，各槽流體狀況尚未穩定所致。綜合以上分析，研判槽體馴養之污泥已有正常生物作用，同時流體狀況亦趨於穩定。

穩定運轉測試期本階段是根據污泥馴養期之評估結果，在處理槽出流水達到穩定去除效率後，即開始此階段之測試項目。首先由溶氧的變化(圖 10 所示)，大部分時期處理水之溶氧約在 4.3~6.7 mg/L，與初期之污泥馴養階段相比較，顯示曝氣槽應有生物作用。再者，S.S. 在本階段之測值(圖 11 所示)，約在 10~70 mg/L，處理效果良好。針對 BOD 分析值(如圖 12 所示)，延續馴養期間之分析結果，顯示出流水 BOD 有逐漸降低趨勢，濃度範圍約在 10~75 mg/L，符合規範標準(80 mg/L)。再者，COD 分析結果(如圖 13 所示)，顯示穩定操作時期出流水之 COD 值高於 BOD，約在 70~150 mg/L，且比較各時段測值之變動，發現 COD 值要較 BOD 明顯，表示污水中仍含有生物未能分解之有機質。

在累積污泥量推估方面，主要是量測各槽累積之污泥厚度及體積，經由污泥固體物濃度估算污泥重量。表 4 為本試驗槽體各單元累積之污泥體積、固體物濃度、重量及統計平均

每日生成之污泥量(體積)，其中初沉槽累積之污泥量最多，其次為最終沉澱槽，此可能是因測試期間，最終沉澱槽之污泥有持續利用回流泵抽送至初沉槽，以致在全程測試期間累積之污泥量不多。此外，由污泥固體物含量來看，初沉槽之固體物濃度明顯高出終沉槽甚多。另由各槽內污泥累積的體積研判，初沉槽和終沉槽在 5 個月測試期間所累積之污泥體積分別約佔槽體體積之 26.6%、21%。

#### 四、結論與建議

本研究以每日處理 18.5 m<sup>3</sup> 之預鑄式槽體為例，就清水水力測試所獲得之各參數，進行槽體短流現象、攪拌混合性能及溶氧曝氣效果等功能評估，並針對實際進流污水運轉處理功能進行實證，所獲之結論有：

1. 槽體水力測試經過脈衝式追蹤劑試驗結果，計算獲得之平均滯留時間、短流現象及攪拌混合性能，與實際進流污水處理功能相符，因此在改善槽體設計或操作上，應有相當助益。
2. 在實際污水處理測試方面，接觸曝氣槽內污泥馴養應有足夠之植種污泥，同時可藉由進出水之溶氧變化，研判槽內接觸材之生物膜生長情形。
3. 累積污泥量推估，可提供預鑄槽體長期操作所需之污泥抽排頻率，以本研究試驗結果為例，對含化糞池之生活污水，操作六個月累積之污泥量約佔沉澱槽體積之 20~25%。

#### 五、參考文獻

1. “預鑄式建築物污水處理設施審核作業要點”，行政院環境保護署，(87)環署水字第○○八五八八五號，中華民國八十七年十二月三十日。
2. “水及廢水基本實驗手冊”，中國土木工程學會，中華民國八十二年。
3. 水污染防治法施行細則
4. 尿尿淨化槽的構造基準同解說(1996)。日本建築。
5. AWWA(1996) "Tracer Studies in Water Treatment Facilities: A Protocol and Case Studies," AWWA Research Foundation, Denver, 1996.
6. Burrows, L. J.; Stokes, A. J.; West, J. R.; Forster, C. F.; Martin, A. D. (1999) Evaluation of different analytical

- methods for tracer studies in aeration lanes of activated sludge plants. *Water Research*, 33(2), pp. 367-374.
7. Frederick, G.L.; Lloyd, B.J. (1995) Evaluation of *Serratia marcescens* bacteriophage as a tracer and a model for virus removal in waste stabilization ponds. *Water Science and Technology*, 31(12), pp. 291-302 .
8. Fogler, H. S. (1992) "Elements of Chemical Reaction Engineering" 2<sup>nd</sup> Ed. Prentice Hall.
9. Toprak, M, H. (1995) Removal of soluble chemical oxygen demand from domestic wastewaters in a laboratory-scale anaerobic waste stabilization pond *Water Research*, 29(3), pp. 923-932 .
10. Seguret, F.; Racault, Y.; Sardin, M. (2000) Hydrodynamic behavior of full-scale trickling filters. *Water Research*, 34(5), pp. 1551-1558 .
11. Torres, J.J.; Soler, A.; Saez, J.; Ortuno, J.F. (1997) Hydraulic performance of a deep wastewater stabilization pond. *Water Research*, 31(4), pp. 679-688 .

#### 六、誌謝

本研究進行期間承蒙行政院環保署中區辦公室李金福科長、李雅慧小姐、胡家宏先生及蘇興宗先生提供寶貴意見及指教，在此一併誌謝。

表 1. 脈衝式追蹤劑試驗獲得之各參數及代表物理性意義

項目	參數符號	代表物理性意義
平均滯留時間	$\bar{t}$ (mean residence time)	平均滯留時間 $\bar{t}$ 與水力停留時間 $T$ 之比值，代表槽體水流流況。一般 $\bar{t}/T$ 愈低，表示槽內發生死水區 (dead water zone) 或短流。
追蹤劑回收率	$m_r$ (mass of tracer recovered)	槽體水流流況之另一參考指標，一般受限於取樣時間梯度、進流清水背景 Cl 濃度干擾及分析儀器誤差，回收率代表意義： (1) $m_r > 80\%$ 表示流況良好 (2) $70\% < m_r < 80\%$ 表示槽體有輕微短流 (3) $m_r < 70\%$ 表示槽體有明顯短流或死水區 (dead water zone)
連續流攪拌反應槽之串聯當量數	$N_{CSTR}$ (number of reactors)	代表槽內流體之攪拌混合狀況，一般 $N_{CSTR}$ 值分佈： 1-2 表示流況為連續混合槽 (CSTR) 2-6 表示流況介於連續混合槽及填充柱狀槽 (PFR) >6 表示流況為填充柱狀槽

表 2 脈衝式追蹤劑試驗相關參數 (流量=12.8 L/min)

測試參數	初級沉澱槽	接觸曝氣槽	沉澱槽+消毒槽
平均滯留時間, hr	5.52	5.00	2.45
理論停留時間, hr	7.27	9.06	3.80
$m_r$ (回收率), %	91.05	99.48	83.63
$N_{CSTR}$	2.35	2.18	3.20

表 3 脈衝式追蹤劑試驗相關參數 (流量=38.3 L/min)

測試參數	初級沉澱槽	接觸曝氣槽	沉澱槽+消毒槽
平均滯留時間, hr	2.73	2.94	3.08
理論停留時間, hr	2.42	3.02	1.27
$m_r$ (回收率), %	98.76	82.92	105.40
$N_{CSTR}$ (槽體串聯當量數)	2.38	1.64	1.93

表 4 污泥產生量統計表 (測試期間含污泥馴養期合計約 150 day)

槽體名稱	污泥體積 ( $m^3$ )	污泥濃度 (mg/L)	污泥重量 (kg)	污泥每的產生重量 (kg/day)	污泥每日產生體積 ( $m^3$ /day)
初級沉澱槽	1.51	22154	33.45	0.2230	0.0101
最終沉澱槽	0.62	3014	1.87	0.0125	0.0041
合計	2.13	NA	35.32	0.2355	0.0142

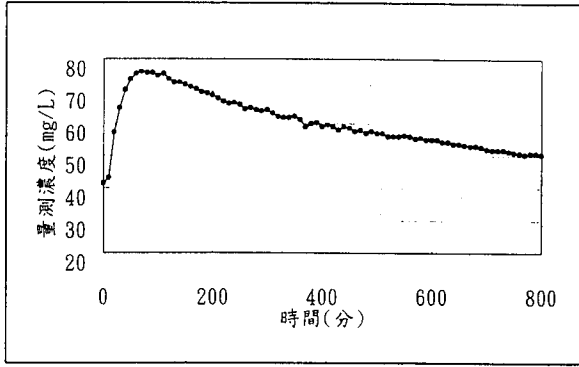


圖 1. 初級沉澱池氯離子濃度變化圖  
(流量 = 12.8 L/min, 氯離子加添量 = 120 g)

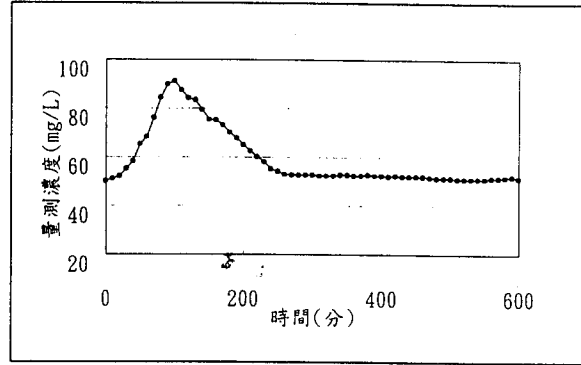


圖 4. 初級沉澱池氯離子濃度變化圖  
(流量 = 38.3 L/min, 氯離子加添量 = 120 g)

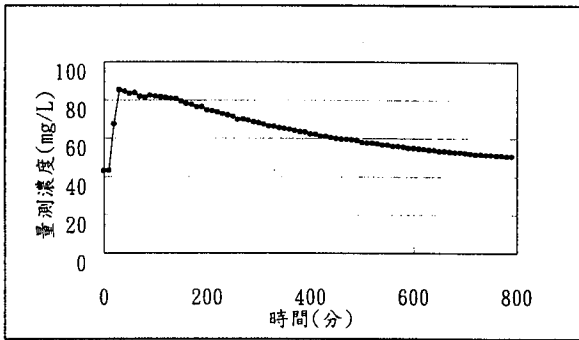


圖 2. 曝氣槽氯離子濃度變化圖((流  
量 = 12.8 L/min, 氯離子加添量=120  
g)

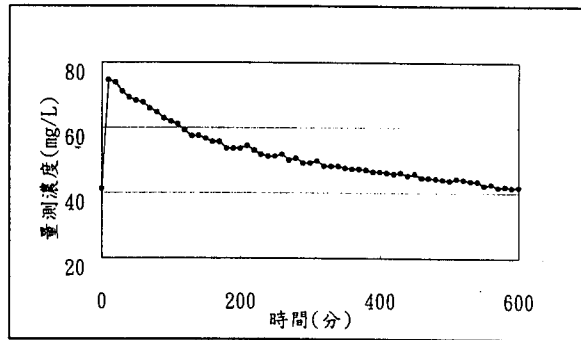


圖 5. 曝氣槽氯離子濃度變化圖(流  
量 = 38.3 L/min, 氯離子加添  
量=120 g)

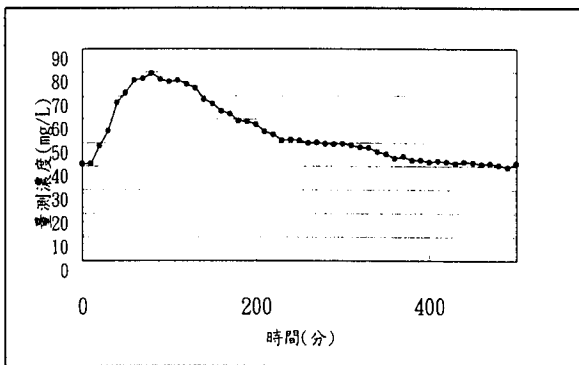


圖 3. 終沉槽和消毒槽氯離子濃度變  
化值(流量 = 12.8 L/min, 氯離子加  
添量

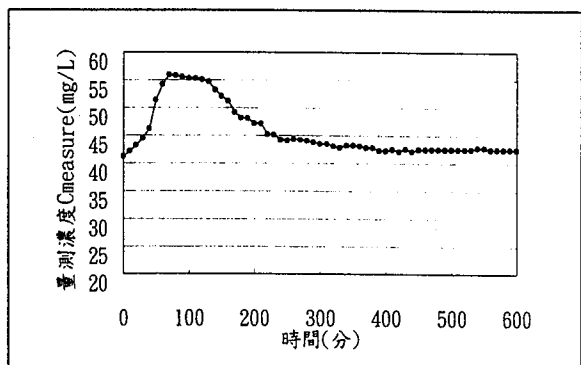


圖 6. 終沉槽和消毒槽氯離子濃度變  
化圖(流量= 38.3 L/min, 氯離子加  
添量=120 g)

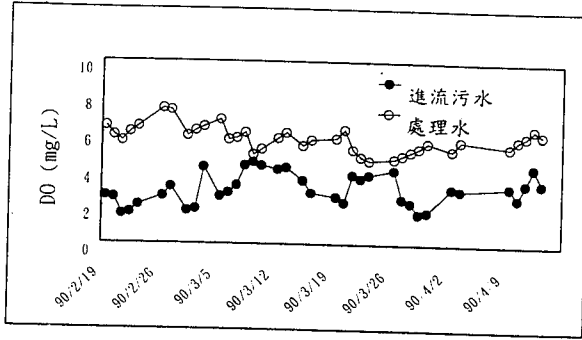


圖 7. 污泥馴養期間進流污水及處理水之 DO 變化

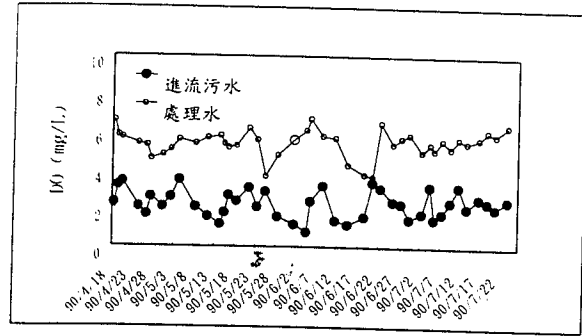


圖 10. 穩定運轉測試期間進流污水及處理水之 DO 變化

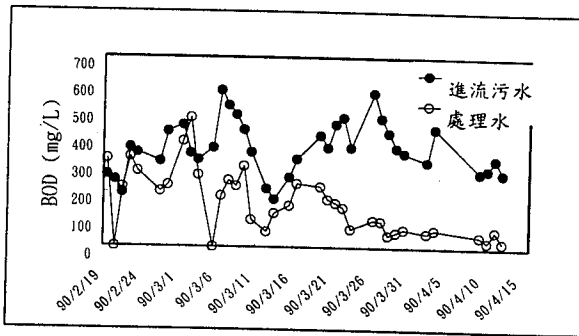


圖 8. 污泥馴養期間進流污水及處理水之 BOD 變化

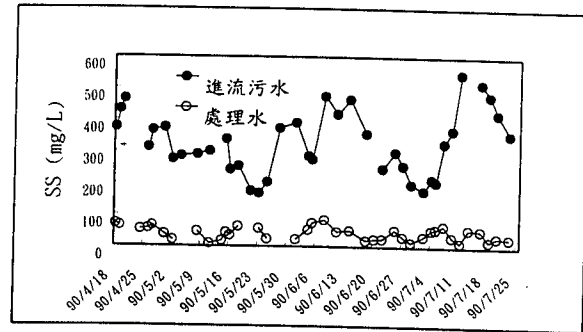


圖 11. 穩定運轉測試期間進流污水及處理水之 SS 變化

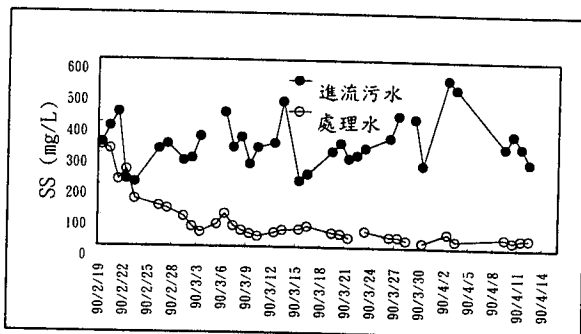


圖 9. 污泥馴養期間進流污水及處理水之 SS 變化

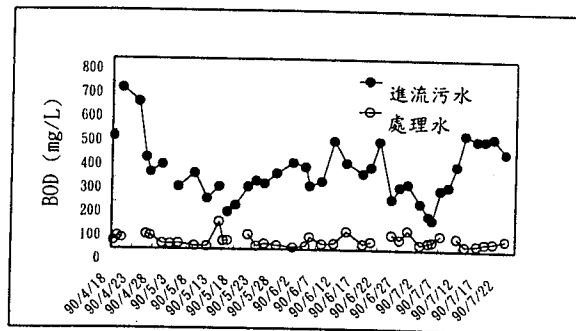


圖 12. 穩定運轉測試期間進流污水及處理水之 BOD 變化

