

處理技術中篩選，找到操作與設備成本較低的 Fenton 法加以研究，改善其缺點，開發 Fenton 家族處理技術，希望能對業界有所助益。■

參考文獻

1. Huang Y. H., Chou S., Peng M. G., Huang G. H. and Cheng S. S. (1999), Case study on the effluent of petrochemical wastewater by electro-Fenton method. *Water Sci. Tech.* 39 (10/11), 145-149.
2. 卓連泰、黃國豪、李勝男、黃耀輝，去除化學需氧量的電解 / 氧化廢水處理方法及其裝置，中華民國發明專利第 088151 號，荷蘭發明專利第 1002995 號，法國發明專利第 2749295 號，日本發明專利第 141275 號。
3. Chou S., Huang Y. H., Lee S. N., Huang G. H. and Huang C. (1999), Treatment of high strength hexamine-containing wastewater by electro-Fenton method. *Water Res.* 33, 751-759.
4. Huang Y. H., Chou S., Huang G. H. and Lee S. N. (1999), Application of Fered-Fenton process to the chemical nickel plating wastewater method, IAWQ Asian Waterqual '99 conference, Taipei, Taiwan, 463-468.
5. 黃耀輝、黃國豪、周珊珊、李勝男，「新的電解氧化技術於高 COD 廢水處理之應用」，1998 工業污染防治工程實務技術研討會，中華民國八十七年十二月。
6. 黃耀輝、黃國豪、李勝男、林世民，電解 / 氧化廢水處理法，美國發明專利第 6126838 號。
7. Chou S. and Huang C. (1999), Decomposition of hydrogen peroxide in a catalytic fluidized-bed reactor. *Appl. Catal. A* 185, 237-245.
8. Chou S., Huang C. and Huang Y. H. (1999), Effect of Fe^{2+} on catalytic oxidation in fluidized-bed reactor. *Chemosphere* 39 (12), 1997-2006.
9. Chou S., Huang C. and Huang Y. H. (2001), Homogeneous and heterogeneous catalytic oxidation by supported $FeOOH$ in a fluidized-bed reactor: kinetic approach (accepted, ES & T.)
10. 黃耀輝、黃國豪、周珊珊、游惠宋、彭淑惠，「低污泥產量之化學氧化廢水處理法」，荷蘭專利第 1009661 號。
11. 黃耀輝等人，「化學氧化設計及應用技術總報告」，2-1~2-11，中華民國八十五年七月。

前言

由於放流水標準逐漸提高，對國內業者帶來衝擊，業者面對的首要問題，即是如何提昇放流水質，以符合現行環保標準。現有二級處理程序多半依據82年放流水標準設計，處理效能可提昇空間有限，如欲提昇放流水質，一般均依兩個方向進行，一為擴充或建造新的處理系統，或增設三級處理以提昇放流水質。採取任一方式改善水質，均會對工廠建造與操作成本增加負荷，尤其三級處理通常會有操作成本太高之缺點。生物網膜(BioNET)乃是以「多孔性生物擔體」為反應槽介質之新型生物處理系統，可提高懸浮固體物攔截之機會，並提供廣大表面積作為微生物附著、增殖之介質，以累積大量及特定族群之生物膜微生物，有助於達到去除各種污染物之目的。反應槽採用浮動床方式操作，具有高效率、高穩定性減少泡綿磨損及操作簡易等特點，尤其適合處理低濃度，高流量之進流水處理。目前本技術於產業界如化工業⁽¹⁾、鋼鐵業⁽²⁾及造紙業二級處理水進行再處理，以降低放流水中COD，期望在不變更既有二級處理程序下，做為三級處理之前處理，能夠降低三級處理之操作成本或直接符合87年放流水標準，其他應用包括PVC聚合及養殖業水回收再利用、原水氨氮去除⁽³⁾⁽⁴⁾，以減少後續氯之添加量、地下水硝酸鹽去除，以符合飲用水標準、埤塘整治，以避免埤塘優養化，及含硫化氫廢水處理，以避免後續處理單元臭味溢散及喜氣處理單元污泥膨化現象等方面，均獲得豐碩成果。

BioNET 相關技術特性與應用對象

BioNET反應槽採用多孔性擔體作為微生物附著與成長之介質，擔體材料以PU(Polyurethanes)樹脂為主，PU樹脂為主鏈含有尿酯基(Urethane Group)之聚合體，可供製造軟質、硬質泡綿，尿酯基係以異氰酸鹽(Isocyanates)與經基化合物作用而得，將異氰酸、經基化合物及發泡劑等添加劑，經發泡、聚合、破泡等程序製成開孔性PU泡綿。

Boyle 及Wallace⁽⁵⁾接受美國EPA委託，評估多孔性生物載體系統之廢水處理功能，這些系統主要特色在於曝氣槽中添加大量小顆粒、開放型或網狀PU泡綿為載體，以提高曝氣槽中微生物濃度，此系統已在英國及德國分別發展成Captor Process與Linpor Process，此兩種程序均為懸浮微生物及固定微生物混合生長系統。

實驗室研究與模型廠試驗結果顯示，本技術可應用於提昇二級處理放流水之品質與自來水原水前處理，對於去除難分解性有機物與總凱氏氮(TKN)、氨氮等具有良好之處理效果，後續將繼續應用至特定有機污染物與含氮污染物之完全去除。綜合而言，本技術應用之對象如下：

1. 串接於現有生物處理系統之後，去除廢水中難分解或毒性物質，提昇COD去除率，並增加出流水質的穩定性。
2. 應用於自來水受污染水源之前處理，去除有機物、氨氮及硝酸氮。
3. 應用於地下水整治，去除水中有機物、氨氮，或硝酸氮等。

4. 作為工廠既有生物處理系統的前處理，預先去除大部分 COD，減輕現有系統的負擔，增加整體去除率，也增加系統的穩定性。
5. 應用於廢水回收再利用之前處理。

案例介紹

(一)國外案例⁽⁶⁾- 染整業原廢水處理

傳統上，染整業最普遍廢水處理程序為活性污泥及化學混凝組合處理系統，然而由於染整廢水受到季節變化、客戶訂單及織物不同等因素影響，造成水質及水量變化極大，影響廢水處理場處理性能，Park⁽⁶⁾等提出 FBAS-C 及 C-FBAS 兩種處理流程，即在活性污泥槽與後混凝或前混凝組合，並於槽中添加 PU 泡綿，且以流體化床方式操作，期能提昇染整廢水處理效果。

本案例為模型廠規模，活性污泥槽

之體積為 60L。泡綿添加量為反應槽有效體 15% 左右，以利泡綿能夠於反應槽中充分流體化。採用泡綿規格如下：比重為 1.03、30-40pores/cm² 及每顆體積 2cm³ 與 50% 孔隙率。反應槽中懸浮及固定生長微生物濃度分別為 2,000mg/L 及 2,800mg/L。在反應槽之後，裝設一組沈澱池以進行固液分離，出流水再經化學混凝處理及固液分離。染整廢水主要來至聚酯纖維減量加工製程，原廢水特性如下：水溫為 29.4~36.20°C、pH 值為 11.8~13.1、COD_{MN} 為 654~1,092mg/L 及 SS 為 46~152mg/L。由於韓國 COD 分析採用 COD_{MN}，原廢水 COD_{MN} 平均值為 824 mg/L，相對於 COD_{Cr} 平均值為 3,200mg/L，故 COD_{Cr}/COD_{MN} 比值約 4。

兩組模型廠實驗結果歸納如表 1 中所示。在 FBAS-C 處理系統中，生物段之負荷維持在 0.16~0.32kgCOD_{MN}/kgVSS。

表 1 兩種處理流程處理結果之比較⁽⁶⁾

項目	單位	FBAS-C 系統	C-FBAS 系統
生物段 COD _{MN} 去除率	%	75	82
化學段 COD _{MN} 去除率	%	17	10
總 COD _{MN} 去除率	%	92	92
出流水 COD _{MN}	mg/L	65	65
生物負荷	kgCOD _{MN} /kgVSS.day	0.16~0.32	0.09~0.19
硫酸鋁劑量	mg/L	600	1000
生物污泥	kg/m ³	0.371	0.155
化學污泥	kg/m ³	0.732	1.160
總污泥量	kg/m ³	1.100	1.315

day 之間，其 COD_{MN} 去除率為 75%，生物污泥產率為 0.42kgMLSS/kgBOD 。而後續化學混凝系統之操作條件：pH 值為 6 及硫酸鋁劑量為 600mg/L ，整個 FBAS-C 處理系統 COD_{MN} 去除率可達 92% 左右，最終出流水 COD_{MN} 濃度為 65mg/L 。C-FBAS 處理系統中，化學混凝操作條件：pH 值為 6 及硫酸鋁劑量為 $1,000\text{mg/L}$ ，其出流水經沈澱後直接進入生物處理系統，其生物負荷維持在 $0.09\sim 0.19\text{kgCOD}_{MN}/\text{kgVSS}\cdot\text{day}$ 之間，較 FBAS-C 處理系統生物負荷為低，此生物段之 COD_{MN} 去除率為 82%，但由於化學混凝段 COD_{MN} 去除率稍低，故 C-FBAS 處理系統總 COD_{MN} 去除率仍為 92%，與 FBAS-C 處理系統相當。由於 FBAS-C 處理系統較 C-FBAS 處理系統處理效果相當，但總污泥產量低 20%，故 FBAS-C 處理系統優於 C-FBAS 處理系統。

(二)國內案例 1：化工業二級出流水再處理

本研究乃針對內烯-丁二烯橡膠 (NBR, Nitrile Butadiene Rubber) 乳膠製程廢水，經過批次活性污泥處理系統 (SBR) 處理後二級放流水進行 BioNET 生物處理之研究，藉由 BioNET 生物處理系統馴養之微生物，使處理水 COD 濃度再降低，以減少高級化學處理之操作成本。

1. 模型廠設備

BioNET 模型廠設備使用之目的，包括驗證實驗室處理實驗之結果、探討廢水水質變動對處理流程可靠性之影響、求取設計所需之參數與長期操作之特性，模型廠流程圖如圖 1 所示。本實驗使用之多孔性生物擔體屬於 polyether-base 系列之開放型孔洞之網狀結構物，孔隙率約為 97%，孔洞直徑大小為 $0.3\sim$

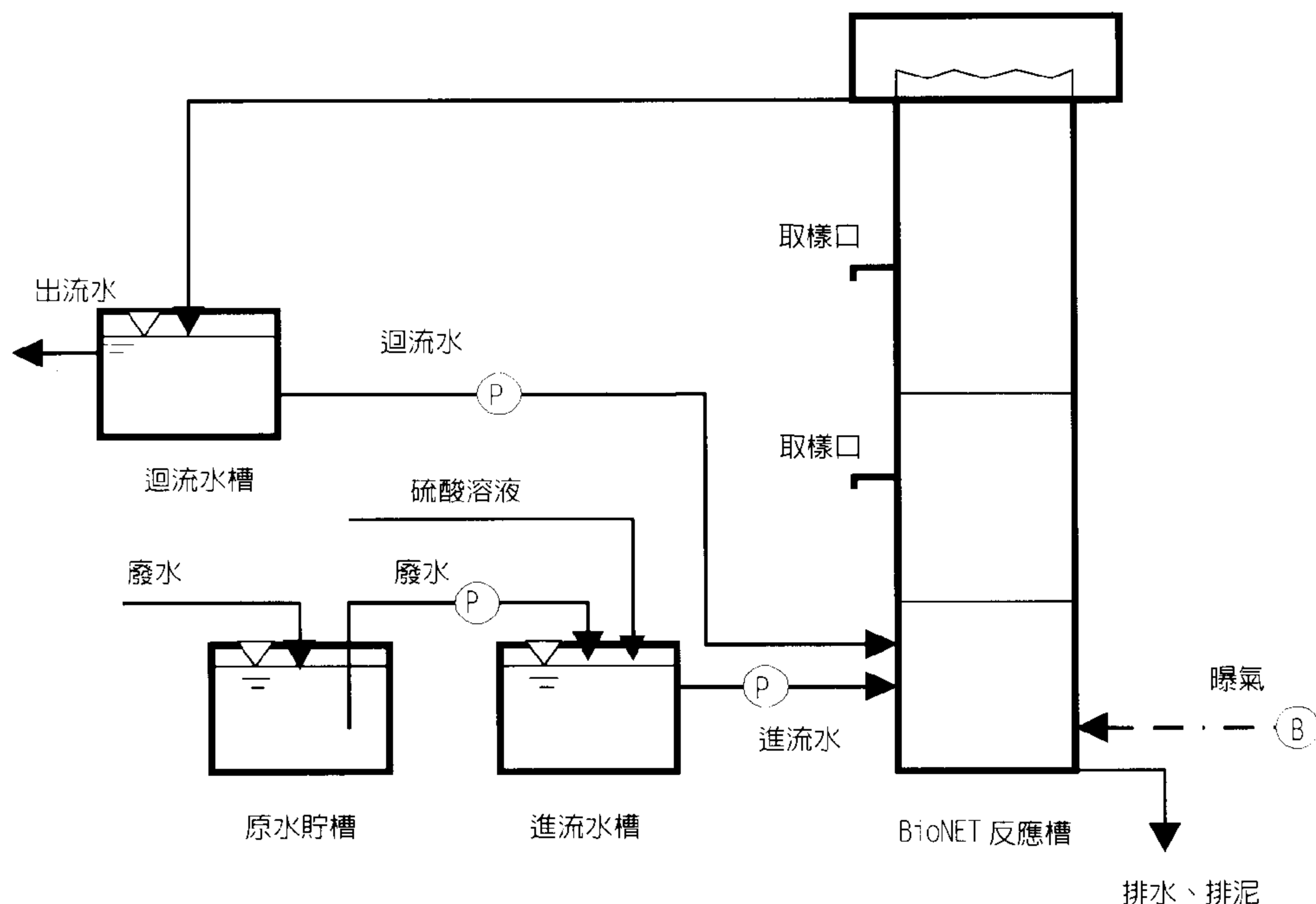


圖 1 模型廠流程圖

0.5mm。多孔性生物擔體之填充量依反應槽之操作條件而定，約為 60-90% 之間。

2. 模型廠試驗

本實驗中投入反應槽之泡綿擔體其視體積約佔反應槽之 100%，投入污泥約 4 kg，同時添加起動藥品，以提昇泡綿擔體表面與懸浮活性污泥之附著性。初期模型廠之起動採迴流方式操作，不進行曝氣具有助於缺氧起動之效果，操作之迴流量 80L/MIN，經持續之觀察，泡綿擔體均已沉沒於反應槽液面下，其視體積約佔反應槽之 75%，目視之親水性良好，且活性污泥均勻分散於泡綿擔體之表面，顯示初步起動效果良好。

3. 結果與討論

茲將實驗結果依模型廠操作控制條件、有機物去除特性及懸浮固體物去除特性等要點，敘述如下：

(1) 進流水 pH 控制

本研究對於 pH 之控制概分為二階段，第一階段為控制進流水之 pH 維持中性範圍，pH 約為 7.1-7.5，第二階段則控制進流水之 pH 維持低於 6 之酸性範圍，pH 約為 5.6-5.8；以探討不同 pH 值之廢水進流條件下，對於有機物質及含氮污染物之去除效果。於實驗初期控制進流水之 pH 為中性時，經處理後之出流水其 pH 值均低於進流水，且於工廠歲修期間，出流水之 pH 值達到 6.1-6.5，降低程度明顯，配合各種含氮成份之分析，可知其主要原因應為含氮物質硝化所造成。當實驗控制進流水之 pH 值為酸性範圍時，經處理後之出流水其 pH 值大部分介於 4.5-6.0 之範圍內，經由特定微生物馴養以分解水中殘留污染物。

(2) 有機物去除特性

有機物之去除為本研究探討重點之一，本實驗進流之廢水為經過二級生物處理後之化工業廢水，存在此廢水中之有機物質，就性質上而言，應屬於難生物分解性物質，其特性與一般自工廠直接排出之廢水特性不同，故處理特性亦不相同，以下乃針對總 COD 與溶解性 COD 去除之特性分別說明：

a. 總 COD (TCOD) 去除特性

本研究對於廢水之進流水與出流水之總 COD 濃度變化如圖 2 所示，顯示本處理程序對總 COD 具有明顯之處理效果，且當進流水之 COD 濃度較高時，反應槽去除之 COD 量亦明顯增加，進流水 COD 濃度高達 350mg/L 以上，處理水之 COD 濃度均可控制於 200mg/L 以下，維持一定程度之處理效果。就模型廠控制廢水維持酸性進流之狀況 (87 年 4 月至 87 年 6 月)，比較進流水與出流水總 COD 濃度變化整理如表 2 中所示；顯示進流水與出流水平均濃度分別為 190 ± 43 mg/L 與 122 ± 33 mg/L，反應槽中去除之 COD 量為 69 ± 34 mg/L，COD 體積負荷為 0.52 ± 0.12 kgCOD/m³.d，平均去除率為 35%。

上述資料顯示，當進流廢水之 pH 控制於 5.6-5.8 之範圍，水力停留時間維持在 8.75hr，COD 體積負荷為 0.3-1.0 kgCOD/m³.d 變動之條件下，對於總 COD 之去除量約為 40-100mg/L，去除率約 20-50%。

b. 溶解性 COD (SCOD) 去除特性

相對於表 2 之進流水與出流水溶解性 COD 濃度變化如表 3 所示，顯示進流水與出流水平均濃度分別為 134 ± 37 mg/L 與 111 ± 31 mg/L，反應槽中去除

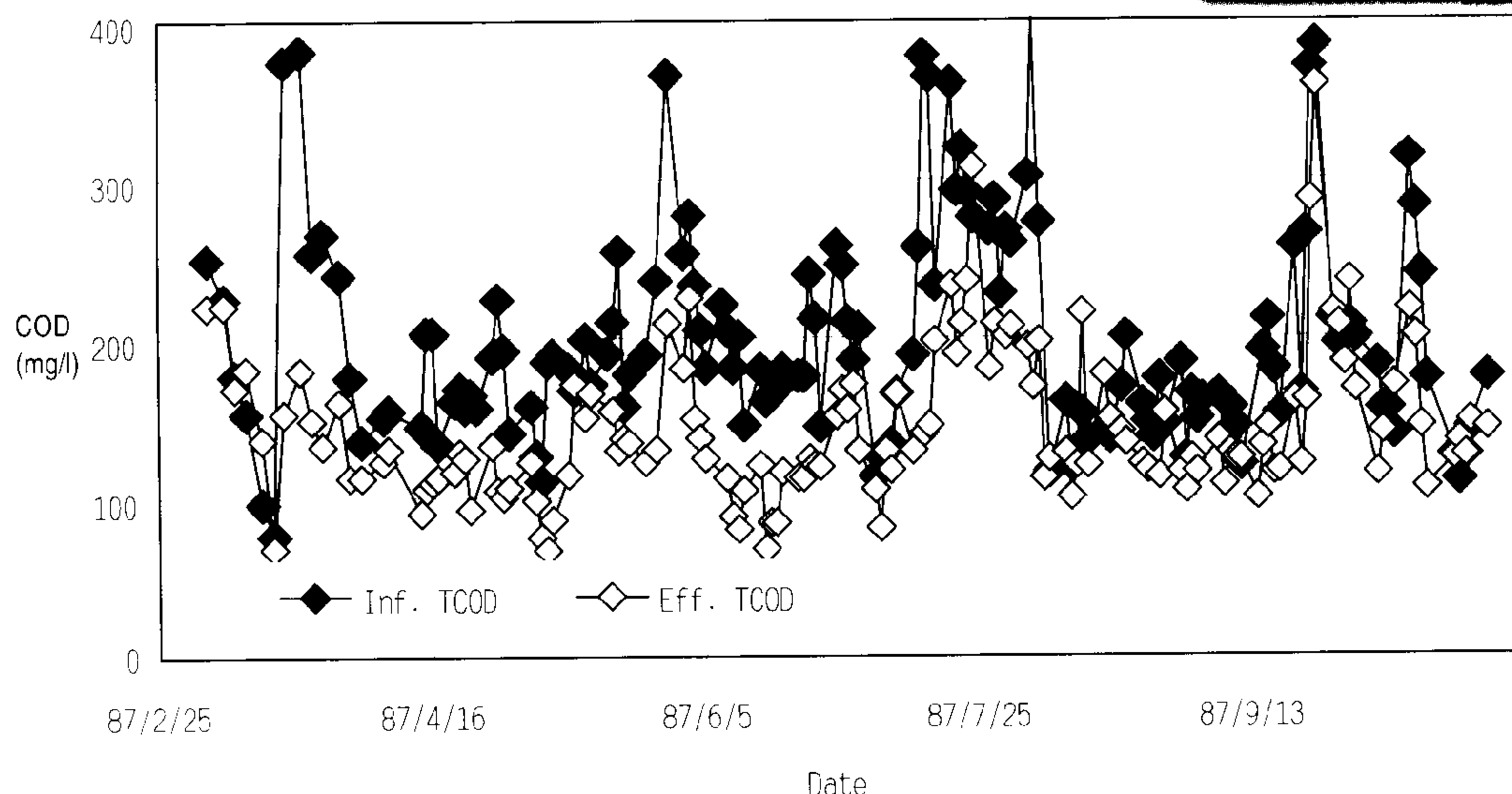


圖 2 模型廠進流水與出流水總 COD 濃度變動

表 2 模型廠進流水與出流水總 COD 濃度變化

項目	平均值	標準偏差	最大值	中值	最小值	樣本數
進流水 COD (mg/L)	190	43	366	181	110	53
出流水 COD (mg/L)	122	33	225	119	67	49
去除 COD 量 (mg/L)	69	34	157	66	-4	49
體積負荷 (kgCOD/m ³ .d)	0.52	0.12	1.00	0.50	0.30	52
去除率 (%)	35	—	64	36	0	49

之 COD 量為 22 ± 20 mg/L，COD 體積負荷為 0.52 ± 0.12 kgCOD/m³.d，平均去除率為 16%。此分析數據指出，溶解性 COD 濃度之變動性較總 COD 大，反應槽中去除 COD 量之標準偏差相對而言亦較大。

比較排放水之總 COD 與溶解性 COD 濃度如圖 3 所示，顯示出流水中總 COD 與溶解性 COD 濃度相差不大，其變動之趨勢相同，統計分析圖中之數據可知，排放水中總 COD 與溶解性 COD 濃度之平均差值為 15 ± 12 mg/L (變動範圍為 0-40

mg/L)，而溶解性 COD 佔總 COD 濃度之比例為 $89 \pm 8\%$ (變動範圍為 72-100%)，顯示溶解性 COD 佔總 COD 濃度較高之比例。

此外，出流水溶解性 COD 濃度與反應槽 COD 體積負荷之關係如圖 4 所示，COD 體積負荷與出流水溶解性 COD 濃度變動範圍分別為 0.35-0.7 kg/m³.day 與 75-150 mg/L，出流水溶解性 COD 濃度與反應槽 COD 體積負荷約略成正比關係，然而在高負荷狀況下，變動範圍較大。

(3) 懸浮固體物去除特性

表 3 模型廠進流水與出流水溶解性 COD 濃度變化

項目	平均值	標準偏差	最大值	中值	最小值	樣本數
進流水 COD (mg/l)	134	37	287	132	79	53
出流水 COD (mg/L)	111	31	217	104	64	49
去除 COD 量 (mg/L)	22	20	70	24	-21	49
體積負荷 (kgCOD/m ³ .d)	0.52	0.12	1.00	0.50	0.30	52
去除率(%)	16	—	43	18	-19	49

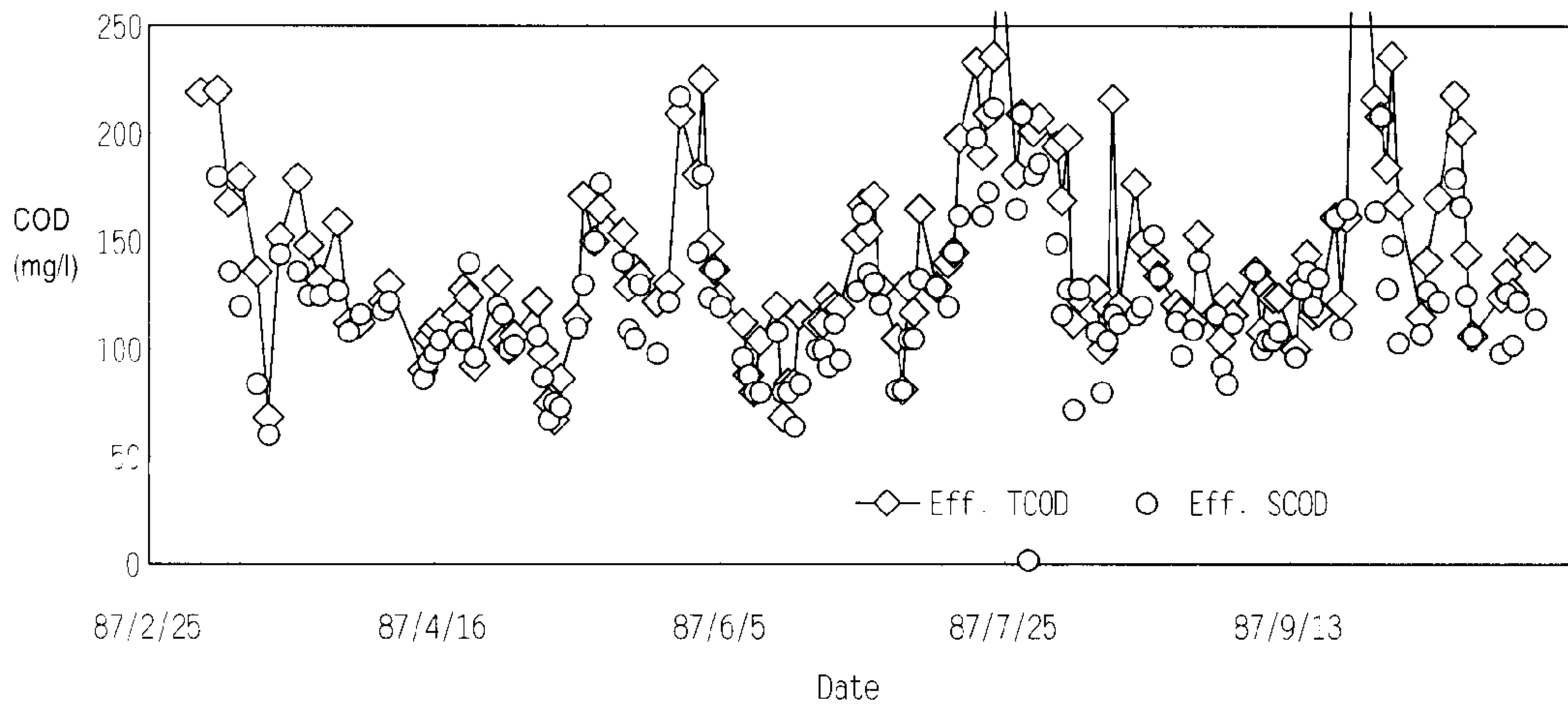


圖 3 模型廠出流水總 COD 與溶解性 COD 濃度關係

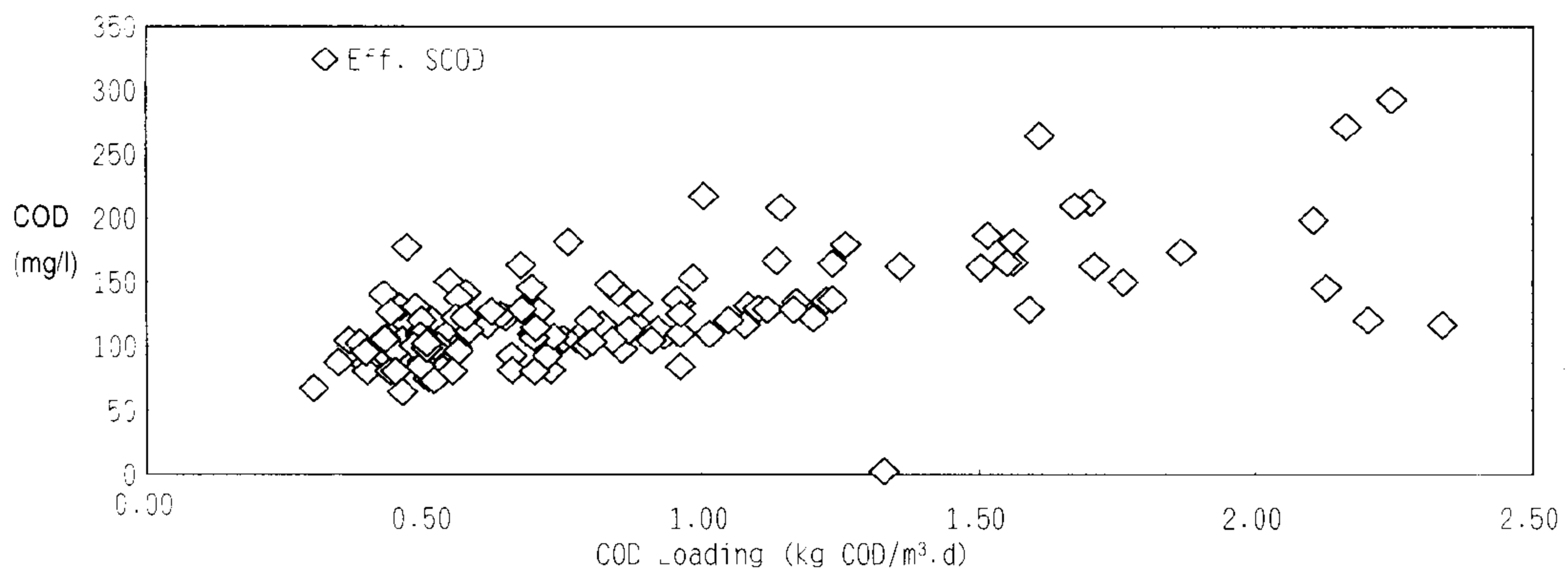


圖 4 模型廠出流水 COD 濃度與 COD 體積負荷關係

進流水與出流水之懸浮固體物(SS)濃度變化如圖5所示，本處理程序對SS具有明顯之處理效果，大部分進流水SS之濃度範圍為30-120mg/L，而出流水SS大部分可低於50mg/L，且出流水SS濃度不受進流水濃度之影響，展現穩定之處理效果。

上述之資料顯示，當進流廢水之pH控制於5.6-5.8之範圍，水力停留時間維持在8.75hr，而COD體積負荷為0.3-1.0kgCOD/m³.d變動之條件下，對於懸浮固體物之去除量約為0-65mg/L，去除率約為30-85%。

(三)國內案例2：PVC聚合製程水回收前處理

1. PVC製程中廢水產生源

PVC製程中廢水主要來源為PVC聚合後，進行離心所產生之廢水。通常，生產1噸PVC產品會產生2至4噸左右之廢水。由於該廢水除SS外，其他有機物污染物濃度低，對於缺水地區工廠，回收此股廢水用於冷卻水塔補充水，具有節省水資源及經濟上之實質意義。由

於PVC製程廢水回收後，目標是希望能夠作為冷卻水塔補充水，故針對一般冷卻水塔補充水水質之考慮加以說明。通常冷卻水所引發的操作問題，主要包括腐蝕、結垢(scale)、沈積物、積垢(fouling)及菌藻困擾(slime)等問題。

2. 廢水水質特性

PVC案例廠廢水經離心後，其水質特性如下：pH值為3.1~4.5、TCOD為381~2,394mg/L、SCOD為196~759mg/L、SS為223~1223mg/L及導電度為231~298s/cm。因此，離心後廢水必須進行處理以降低COD及SS，才有回收再利用機會。其中COD及SS之來源是聚合過程中殘留分散劑如纖維素衍生物、界面活性劑或其他有機添加物。依水質特性選擇處理方式有物理、化學或生物處理方式進行評估，以達到回收再利用之目標。

3. 水回收處理程序評估

由水質資料初步分析結果顯示，懸浮性PVC(Suspension PVC, S-PVA)廢水具有回收價值，高衝擊PVA(High impact PVC, HIP-PVC)廢水由於污染濃度高，回收困難度高，故初期僅針對S-

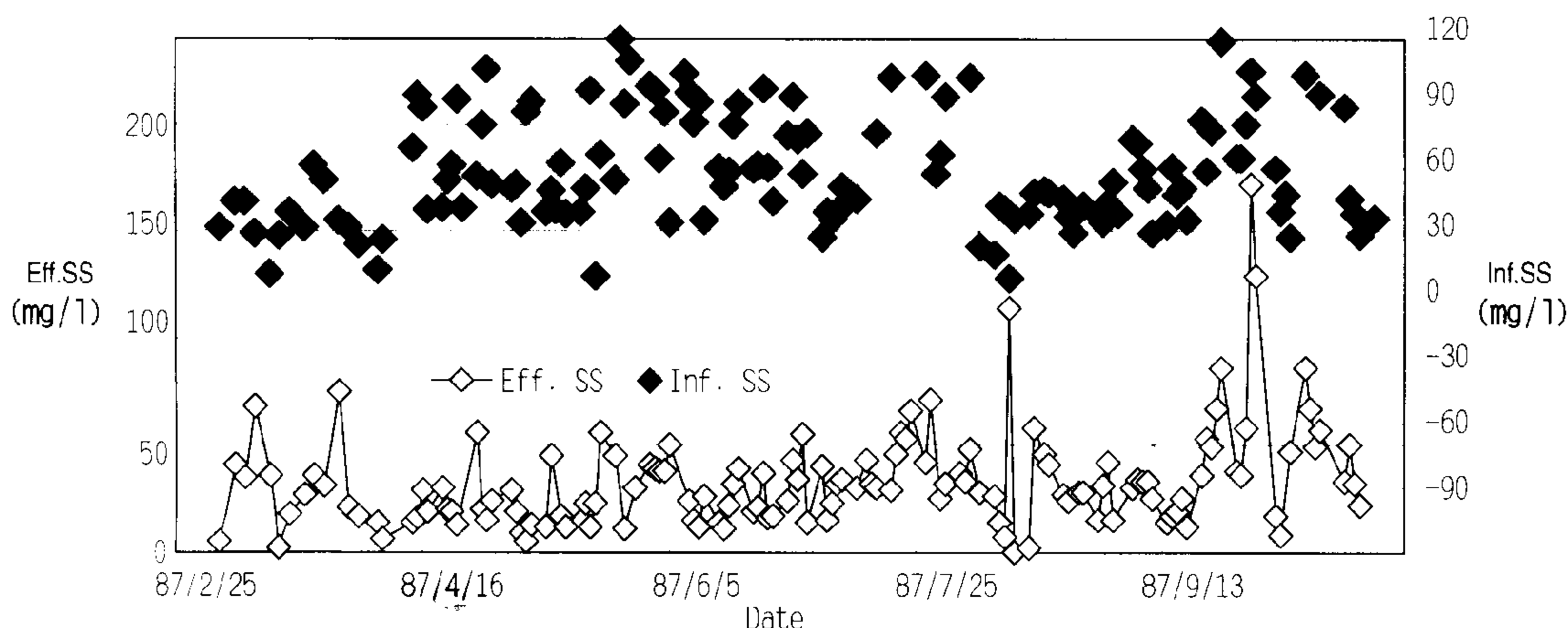


圖5 模型廠進流水與出流水懸浮固體物濃度變動

PVC 製程廢水水回收處理程序進行評估，方式可分為生物及物化處理評估兩項。生物處理部份選定 BioNET 反應槽處理系統；物化處理技術方面則涵蓋有化學混凝、氧化法（次氯酸鈉、雙氧水、Fenton 法及 $H_2O_2 + Cu^{2+}$ ）等單元技術評估。本案例廠僅就 BioNET 反應槽處理系統評估結果加以介紹。

(1) 實驗設備與方法

基於 PVC 製程廢水特性及上述處理程序篩選原則後，決定採用 BioNET 反應槽做為生物處理主要單元。由於考慮固定膜生物處理系統處理高濃度廢水會有生物膜生長快速，造成反應槽阻塞及需經常反沖洗困擾，經由研究結果⁽⁷⁾顯示，此種型式反應槽對於低濃度廢水處理有其應用之潛力。BioNET 反應槽內之填充材料係由多孔性 PU 泡綿製造而成，在啟動初期可將植種污泥快速攔截在 PU 泡綿上，達到快速啟動之目的。另外，BioNET 反應槽與一般固定膜生物系統一樣可去除溶解性污染物外，對於廢水中固體物亦有相當好攔截效果。

圖6所示為 BioNET 反應槽結構示意圖。包括反應槽底部進料系統及曝氣系統、槽中添加多孔 PU 泡綿及槽頂氣液分離系統等三個主要部分構造而成。實驗用反應槽體積為 2.4L 左右，以植滿槽方式添加 PU 泡綿，共添加 1.2L 左右泡綿量。使用植種污泥源來自化工所 SBR 廢棄生物污泥，植種後維持反應槽內微生物濃度為 2,000mg/L。由於填充多孔性 PU 材質，故微生物很容易被攔截而附著在 PU 泡綿孔隙上，經過一週左右馴養期後，即開始正式操作，以反應槽水力停留時間（HRT）作為主要操作參數，整個試程規劃 HRT 有 24、12 及

6 小時等。

(2) 結果與討論

經過一週馴養後，開始用化學混凝後 PVC 廠製程廢水進料，此為第一階段操作，操作 HRT=24 小時。由於進料 PVC 廢水已經先化學混凝處理，故其 COD 濃度較低範圍 90mg/L 至 210mg/L 之間，經過處理後結果如圖 7 中所示，COD 濃度範圍介於 30-70mg/L 之間，處理效果良好。接著進行第二階段試程，進料廢水為 S-PVC 廢水取代先前經化學混凝後 PVC 綜合廢水，故其 COD 濃度較高，範圍介於 150mg/L 至 250mg/L 之間，HRT 縮短為 12 小時，經處理後 COD 濃度範圍為 60mg/L 至 120mg/L 之間，COD 去除率約 50% 左右。由於處理水計畫作為冷卻塔補充水，故儘量避免化學藥品添加之原則下，將 pH 為 2~3 原廢水直接進入 BioNET，處理水 pH 值可升至 6~7 之間，主要原因為廢水中含有磷酸，可被生物所利用，故處理水 pH 值上升至中性左右，不需額外添加液鹼。第三階段將 HRT 由 12 小時縮短至 6 小時，瞭解 BioNET

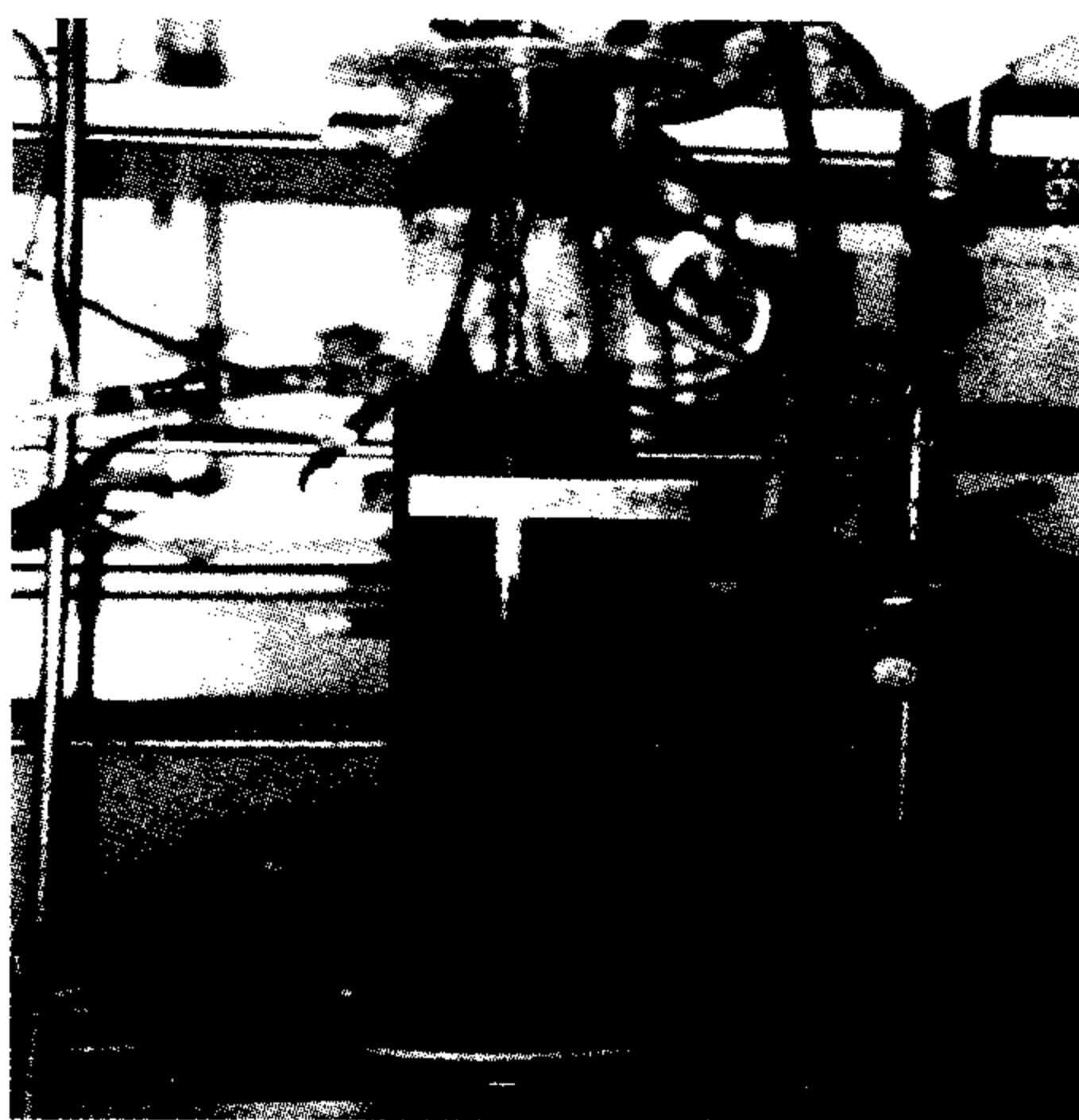


圖 6 生物網膜反應槽示意圖

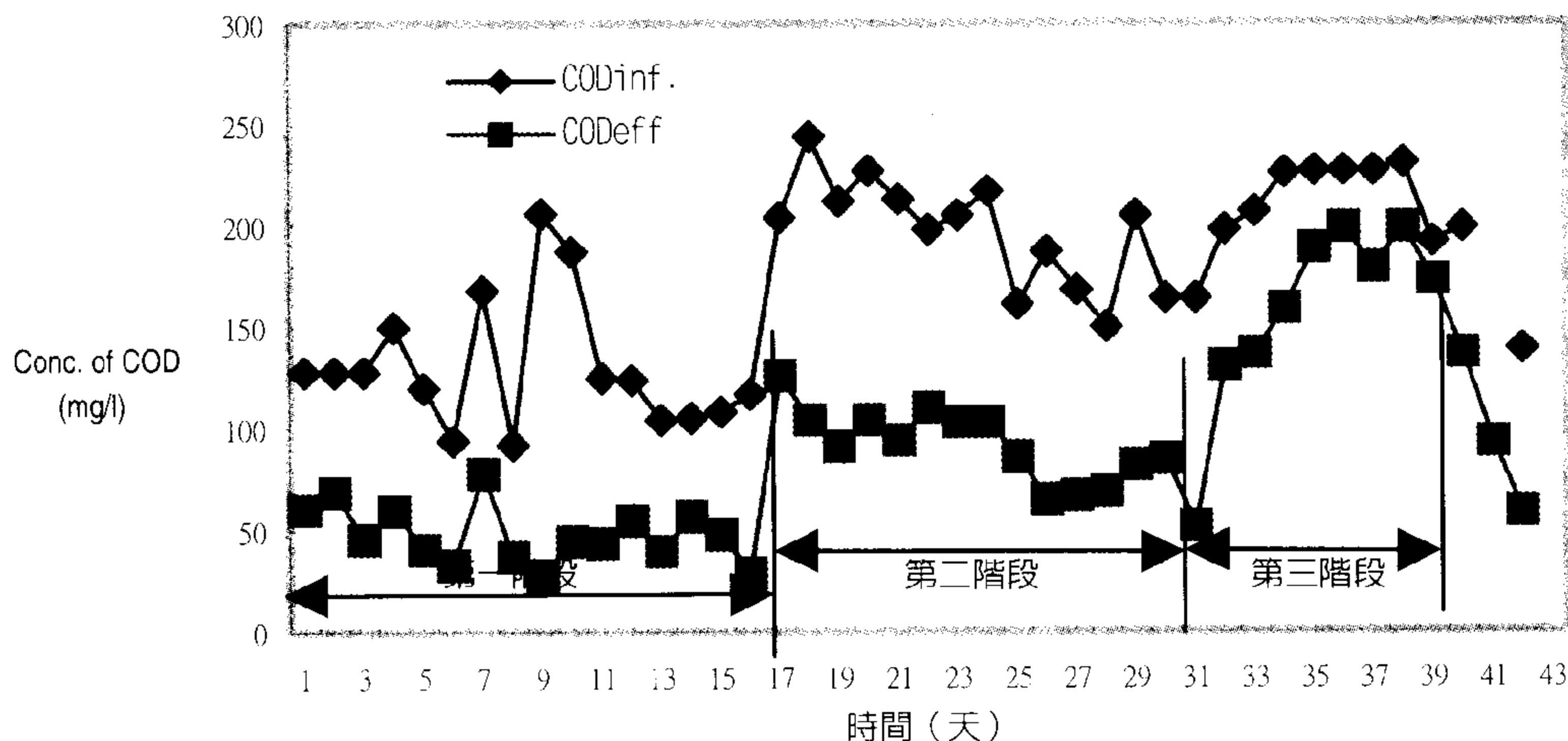


圖 7 BioNET 反應槽對 PVC 製程廢水 COD 去除效果

反應槽對 COD 去除效果，由圖 7 得知出流水 COD 濃度逐漸升高至 150-200mg/L 之間，COD 去除率僅有 15-20% 之間，處理效果不佳，且此期間出流水 pH 值維持在 4-5 之間，無法如第二階段中 pH 值達到中性左右情況，推測其原因可能是 HRT 太短，殘留在廢水中污染物如磷酸未被完全利用之緣故，而造成 pH 值無法達到中性左右。由於此階段效果一直無明顯改善效果，故將 HRT 由 6 小時增回至第二階段 12 小時，出流水 COD 濃度即有明顯降低情形。

選擇 PU 填充材質之 BioNET 反應槽處理 PVC 聚合製程生成水，同時具有去除溶解性 COD 及懸浮固體物之優點，在 HRT 為 12 小時操作條件下，溶解性 COD 去除率可達 50% 左右，可以符合水回收前處理去除溶解性 COD 之目標。

結語

在經濟部技術處經費支持下，BioNET 處理技術多年來已經完成二級放流水、自來水原水及含硫化氫廢水等實

驗室及模型廠評估及驗證，結果顯示 BioNET 處理程序可以提昇二級生物處理排放水之水質，有效處理廢水中殘留污染物如 COD 或氨氮等，以因應日益嚴格排放標準，且由於水力停留時間短，具有反應槽體積較小之優點，可以減少佔地面積需求及初設成本。另外，由於具有良好處理且穩定之效果，雖不一定直接可以符合現行放流水標準，但可以取代部分三級化學處理單元，以節省化學藥品添加成本及後續污泥處理費用，已成為本技術繼續實廠化重要原因之一。依據其他行業二級生物處理出流水再處理經驗，染整廢水二級生物處理出流水亦可以採用 BioNET 處理系統，以降低出流水中 COD 及 SS 濃度與節省操作成本之目的。■

參考文獻

1. 張王冠、莊順興、洪仁陽、鄒文源 (2000)，「用 BioNET 技術處理化工業廢水二級處理出流水」，2000 年產業環保工程實務技術研討會論文集，

- pp.39-56，民國89年11月。
2. 洪仁陽、張王冠、莊順興、鄒文源、吳漢松、劉有清、邵信(1999)，「BioNET模型廠處理煉焦廢水硝化作用之研究」，1999工業污染防治工程實務技術研討會，民國89年12月。
3. 張王冠、莊順興、鄒文源、洪仁陽、吳漢松(1998)，「BioNET技術應用於自來水原水前處理」，中華民國自來水協會會刊，第17卷，第4期，pp. 30-36，民國87年11月。
4. 鄒文源、張王冠、洪仁陽、吳漢松、莊順興(1989)，「以BioNET生物程序進行自來水原水前處理之可行性評估」，第十六屆自來水研究發表會論文集，pp.143-155，民國88年11月。
5. Boyle W. C. and Wallace A. T., (1986) "Status Of Porous Biomass Support System For Wastewater Treatment: An Innovative/Alternative Technology Assessment," US EPA /600/2-86/019.
6. Park, Y.K. et al., (1996) "Dyeing Wastewater Treatment by Activated sludge Process with a Polyurethane Fluidized Bed Biofilm" Water Science and Technology, Vol.34, No.5-6, pp. 193-200.
7. 工業技術研究院化學工業研究所，(1997)「喜氣流動床處理技術開發業界合作報告」，民國86年7月。