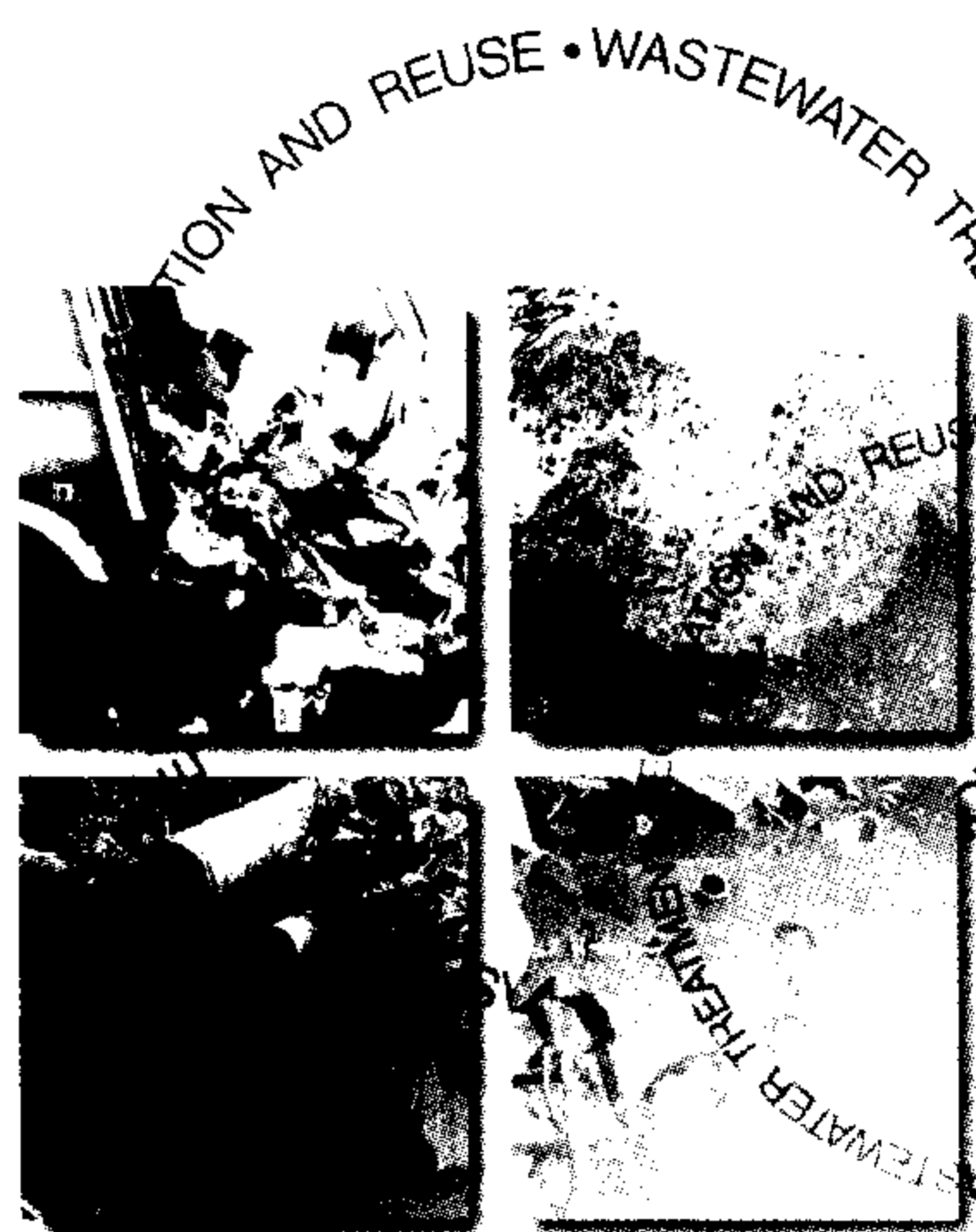




生物網膜技術—應用於低污染水與廢水之處理

張王冠 · 鄒文源 · 洪仁陽

前言

生物網膜 (BioNET) 技術屬於微生物處理方法，其原理為利用多孔性擔體做為微生物附著生長之介質，於適當之環境條件下，微生物於擔體之表面增殖，形成生物膜，藉由大量微生物及多樣性微生物族群之作用，分解水或廢水中的污染成分，達到淨化水質之目的。由於BioNET反應槽採用之接觸濾材具有極大之比表面積 (m^2/m^3)，可提供大量之表面積作為微生物增殖之環境，因此，對於水質之淨化，具有相當大之處理潛力。

BioNET使用之多孔性擔體的主材料為PU (polyurethanes) 樹脂，為主鍵含有尿酯基 (Urethane Group) 之聚合體，可供製造軟質、硬質泡綿。尿酯基係以異酸鹽 (isocyanates) 與羥基化合物作用而得，常用之異氰酸鹽為二異氰酸鹽 (Diisocyanate)，包括TDI、MDI、NDI及HDI；常用之羥基化

合物則為二元醇及多元醇，多元醇則分為聚酯多元醇及聚醚多元醇。將異氰酸、羥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。以改良離子電荷及表面活性之PU泡綿，進行載體表面與生物處理效率之關係，實驗結果發現改良型泡綿能更快速聚集微生物，提高污染物之分解率及促進系統穩定性¹⁾。

由於開孔性泡綿具有廣大的表面積，可提供微生物附著增殖，Breitenbucher²⁾ 曾進行高效率開孔性 (open pore) 載體相關研究，其指出高效率載體需具備下列特性：1. 對微生物而言，需要附著速率快、提供廣大面積以供附著、表面粗糙度、可調整孔隙大小、大孔隙體積 (儲存容量)、開放性孔洞 (避免質傳限制)、生物與化學穩定性 (避免微生物與載體間非必要之反應)、表面性質可修改；2. 對程序工程而言，載體幾何形狀固定、良好之反洗特性、可忍受堵塞、機械強度。

從相關之研究結果與相關文獻之整理，本處理系統所具有之技術特點如下：

1. 採用多孔性擔體作為反應槽之介質，提高懸浮固體物攔截之機會，由於擔體屬於開放性孔洞，有助於水流流況之穩定。
2. 多孔性擔體提供廣大表面積供微生物附著、增殖，可累積大量生物膜微生物，有助於達到去除各種污染物之目的。
3. 多孔性擔體上成長大量微生物，反應槽具有高負荷、高效率、高穩定性的優點。
4. 成長於多孔性擔體之生物膜型態，有助於特定族群微生物之馴養。
5. 採用固定床/膨脹床方式操作，具有操作簡易之特點。
6. 對於有機污染物之處理，多孔性擔體之成本與浸水濾床材質相近，但其處理功能為浸水濾床之二倍。

生物網膜技術優點

以附著微生物方式處理廢水，大致上可分為固定床式操作和流體化床操作兩種。採用固定床式操作之技術，經常遭遇反應槽短流、阻塞等問題，嚴重影響廢水處理成效。而採用流體化床操作之技術，則會遭遇到擔體因劇烈攪動而嚴重磨耗，造成擔體表面生物膜之不穩定，進而影響處理水質。欲克服此問題，生物處理反應槽必須達到避免反應槽短流、阻塞與擔體嚴重磨耗等問題³⁾。

使用多孔性生物擔體為核心之生物處理系統，一般均採流動床處理槽方式，流動床處理槽雖然具有部分預期的優點，但是若與傳統活性污泥比較，負荷提升的程度有限，其效益不如預期顯著，更不利的是，在流動床的操作模式下，擔體的磨損非常嚴重。若採用流動床作為處理槽的基本架構，必須選擇耐磨損的擔體，如此一來，勢必增加處理槽的成本。除此之

外，為了讓擔體在槽內順暢的流動，在流動床處理槽中擔體的填充率（擔體總體積與處理槽體積的比例）不能太高，否則擔體將會因為相互阻擋而失去流動的效果，一般的處理槽填充率在30%左右，如此低的填充率，使得添加「擔體」的效益無法充分發揮。

本技術將填充床填充率提高，除可以解決擔體磨損的問題，而且操作上會比流動床簡單，至於堵塞的問題，則可以由適當的反沖洗加以排除，因此填充床式的處理槽比流動床式的處理槽理想。由於反應槽有效體積內填充顆粒狀多孔性可壓縮擔體，反應槽具有浮動床操作之特點，擔體可供大量微生物附著形成生物膜，且浮動於反應槽之內，擔體間可依水流狀況自動調整其相關位置，同時具有低磨耗、避免阻塞、均勻分散氣體與進流水等之優點，Bio-NET技術之示意圖，如圖1所示。

由於低污染水與廢水（例如二級處理水、表面水和地下水），其中含有難分解之有機物質，並無法於傳統之廢水生物處理程序中去除。為了達到高品質之處理水標準，只好轉而使用化學方式處理低污染水，然而如此會造成資源之浪費與後續處理之困擾。因此，BioNET技術提供經濟有效之淨化低污染水的方法，可降低對於難分解有機物質之處理成本，達到強化廢水處理性能，提升排放水品質之目的；並可用於淨化受污染之自來水原水，有效解決水源污染之問題。

應用案例——二級處理出流水處理

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，即是如何提升放流水質，以符合環保標準。現有二級處理程序多半依據舊有放流水標準設計，處理效能可提升空間有限，如欲提升放流水質，一般均依

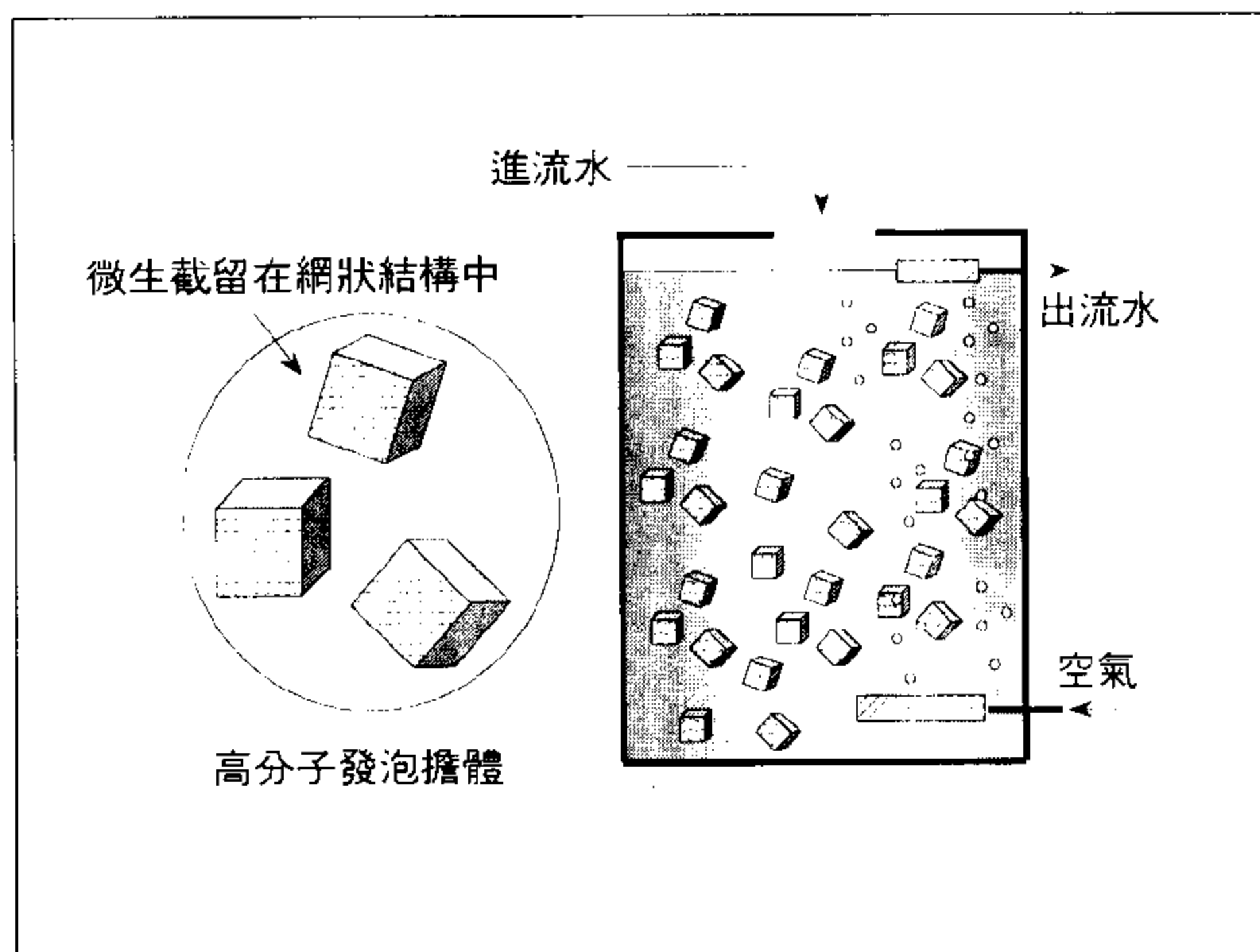


圖1 BioNET技術示意圖

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升放流水質。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。本應用案例以BioNET程序對化工業製程廢水二級處理水進行再處理，以進一步降低放流水中COD，期望在不更改原有二級處理程序下，做為三級處理之前處理，以降低三級處理之操作成本或直接符合87年放流水標準。

由於BioNET之進流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COD與SS去除之特性分別說明⁵⁾：

(一)去除COD

對於廢水中總COD去除之變化情形如圖2所示，圖中顯示進流水與出流水之總COD濃度變化，分析圖中資料可知，本處理程序對於總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350 mg/l以上，處理水之COD濃度均可控制於200 mg/l以下，維持一定程度之處理效果。

就廢水維持酸性進流之狀況（87年4月至87年6月），進流水與出流水總COD濃度變化情形加以比較，顯示進流水平均濃度為 190 ± 43 mg/l，而出流水之平均濃度為 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%。亦即，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8.75 hr，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40-100 mg/l，去除率約為20-50%。當進流水之總COD濃度較高時，模型廠去除之總COD濃度亦隨之增高，實驗資料之線性關係雖不明顯，但整體而言呈現正相關之趨勢。

對廢水中溶解性COD去除之特性加以探討，顯示進流水平均濃度為 134 ± 37 mg/l，而出流水之平均濃度為 111 ± 31 mg/l，反應槽中去除之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%。比較出流水之總COD與溶解性COD濃度

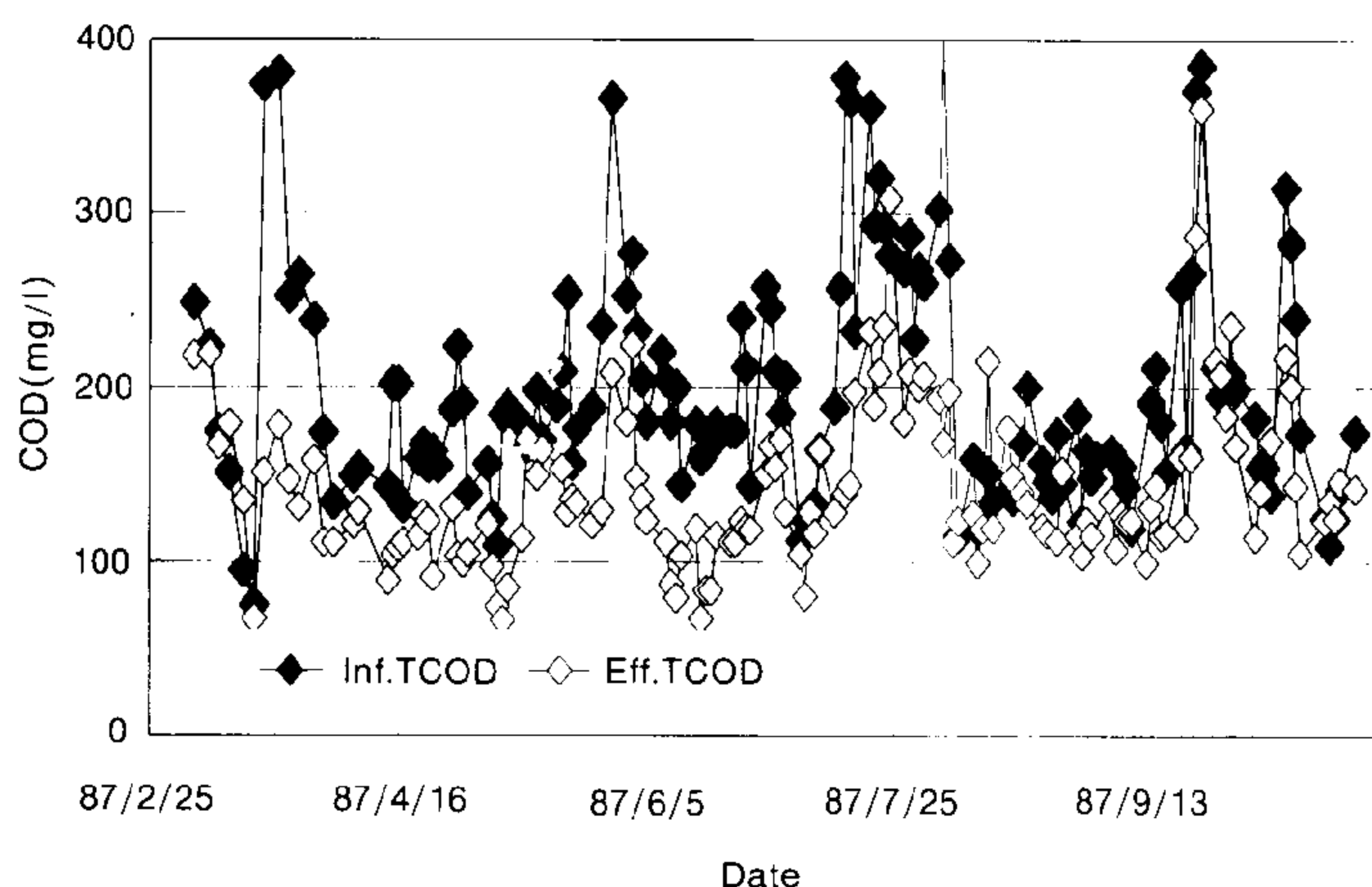


圖2 進流水與出流水總COD濃度變動

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

分析進流水與出流水之總COD與溶解性COD濃度累積特性，考慮廢水水質常態分佈之特性下，濃度累積曲線如圖3所示，圖中資料指出，進流水總COD、出流水總COD與溶解性COD之75%累積濃度分別為220、150及135 mg/l，即於正常操作狀況下，75%之進流水與出流水COD濃度分別低於220與150 mg/l。圖3中資料亦指出，當進流水之總COD濃度低於160 mg/l時，出流水之總COD濃度將可低於100 mg/l。

(二)懸浮固體物去除特性

對於廢水中懸浮固體物去除之變化情形如圖4所示，圖中顯示進流水與出流水之懸浮固體物濃度變化，分析圖中資料可知，本處理程序對於懸浮固體物具有明顯之處理效果，大部

分進流水懸浮固體物之濃度範圍為30-120 mg/l，而出流水之懸浮固體物大部分可低於50 mg/l，且出流水懸浮固體物濃度不受進流水濃度之影響，展現穩定之處理效果。

就廢水維持酸性進流之狀況（87年4月至87年6月），其進流水與出流水懸浮固體物濃度變化情形加以比較，顯示進流水平均濃度為 61 ± 28 mg/l，而出流水之平均濃度為 26 ± 15 mg/l，反應槽中去除之懸浮固體物量為 34 ± 31 mg/l，平均去除率為 $58 \pm 26\%$ 。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8.75 hr，COD體積負荷為0.3-1.0 kgCOD/m³.d變動之條件下，對於懸浮固體物之去除量約為0-65 mg/l，去除率約為30-85%。

分析進流水與出流水之懸浮固體物濃度累積特性，考慮廢水水質常態分佈之特性下，進流水懸浮固體物出流水懸浮固體物之75%累積濃度分別為80及35 mg/l，即於正常操作狀況下，75%之進流水與出流水懸浮固體物濃度分別低於80與35 mg/l，此結果反應出，在大部分之情況下，水力停留時間維持8.75小時，則出流水之懸浮固體物接近30 mg/l之管制標準。

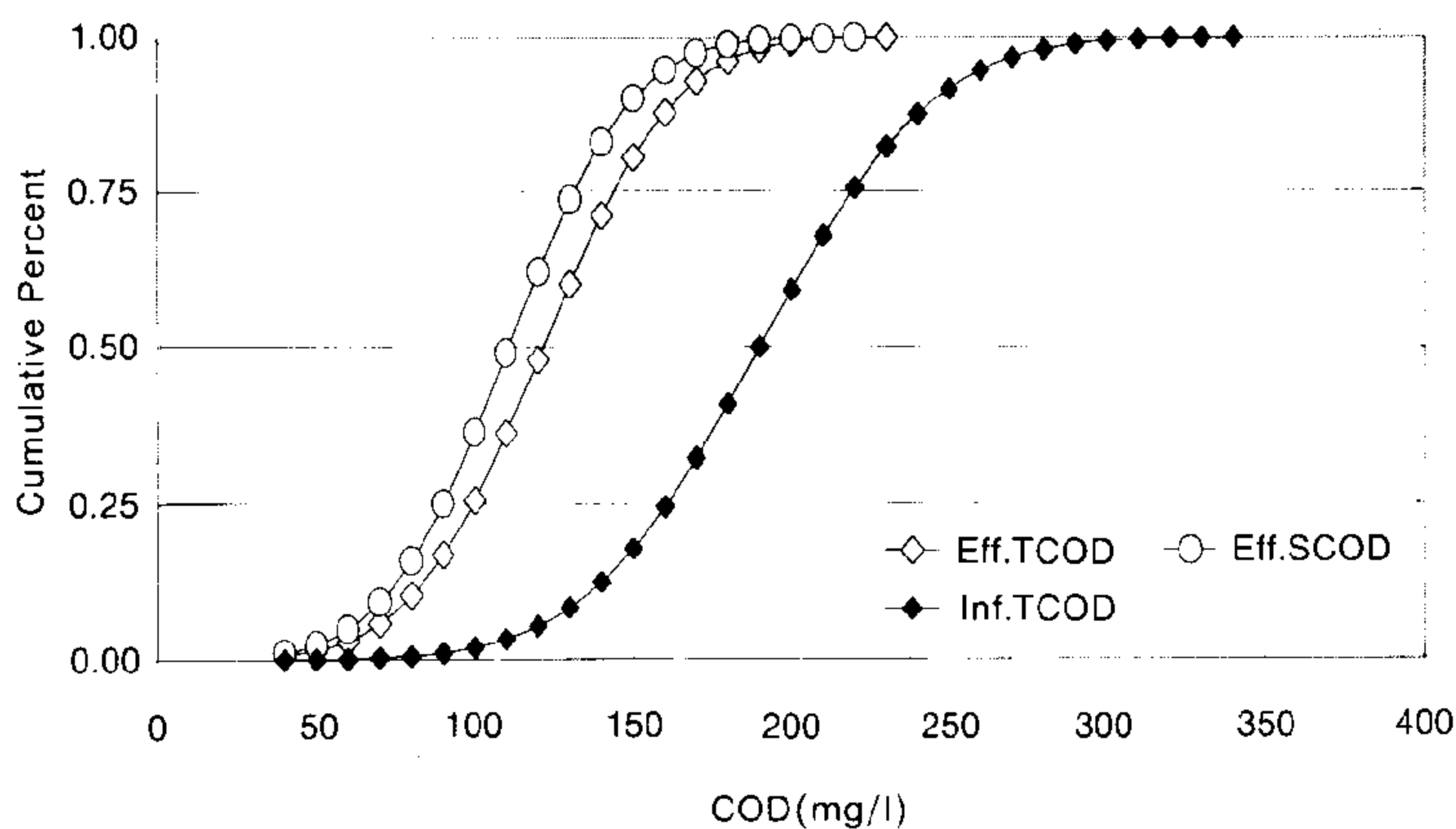


圖3 進流水與出流水COD濃度累積曲線

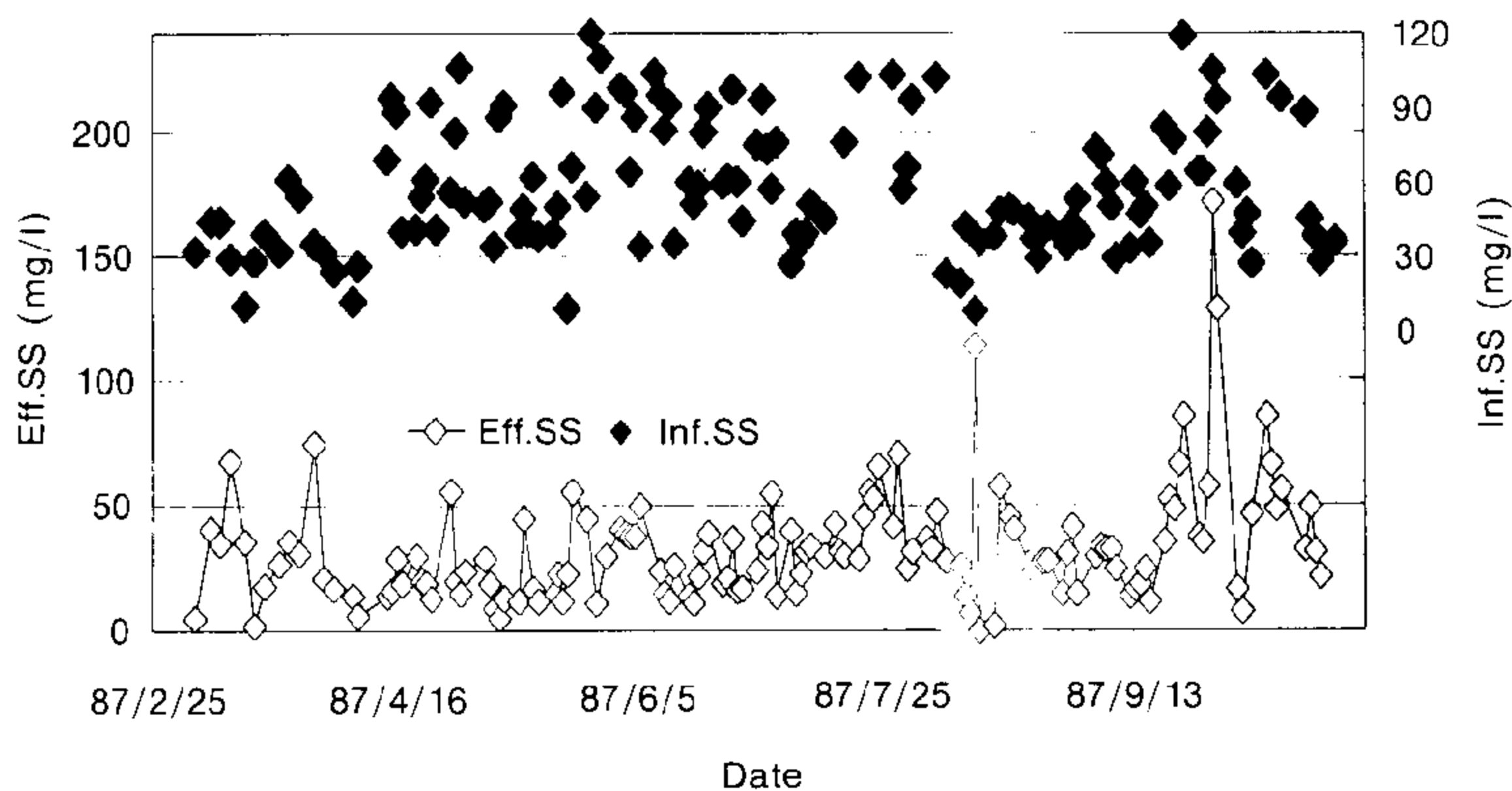


圖4 進流水與出流水懸浮固體物濃度變動

本處理程序應用於提升二級生物處理排放水之水質，可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。由於具有良好且穩定之效果，可替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。對於本應用案例而言，當模型廠進流廢水之pH控制於5.6-5.8之範圍，水力停留時間維持8.75 hr，COD體積負荷為0.3-1.0 kgCOD/m³.d變動之條件下，進流水總COD平均濃度為190±43 mg/l，而出流水之平均濃度為122±33 mg/l，對於總COD之去除量約為40-100 mg/l，去除率約為20-50%。進流水平

均懸浮固體物濃度為61±28 mg/l，而出流水之平均濃度為26±15 mg/l，去除量約為0-65 mg/l，去除率約為30-85%。目前已根據試驗結果完成1600m³/day之實廠設計與建造，處理水質與模型廠結果一致。

應用案例二—自來水原水前處理

以生物處理技術去除水中之有機物與含氮污染物，在國外已採行多年。很多歐洲國家（如法國、德國及荷蘭）與日本均將生物處理包

括在處理流程中，以去除水中生物可分解物質，而得到生物穩定之供水。生物處理通常利用好氧生物膜技術具有之優點，如程序穩定性、較能容忍突增負荷、產生較少之生物固體及將不同種類微生物在反應器內區隔，以進行不同性質之反應等，以去除原水中之有機物（如生物難分解物質與三鹵甲烷前驅物）、氨氮與其他微量物質等。

BioNET技術使用多孔性擔體做為微生物附著與生長之介質，因此應用在自來水水源之前處理，以去除水中有機物、氨氮及硝酸氮⁴⁾⁶⁾

。由圖5模廠試驗氨氮之變化可知，在進流水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均濃度 3.69mg/L 下，BioNET反應

槽的氨氮硝化率非常好，停留時間（HRT）從90分縮短至10分，氨氮體積負荷從 $0.07\text{kg NH}_3\text{-N/m}^3\text{day}$ 提升至 $0.54\text{kg NH}_3\text{-N/m}^3\text{day}$ ，硝化率都在73%以上，最高達94.85%，顯示BioNET反應槽對氨氮的體積負荷還具有提升的空間。

而圖6模廠試驗硝酸氮之結果可知，HRT從90分縮短至10分，進流水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 平均濃度在 $0.81\sim 1.95\text{mg/L}$ ，出流水則升高至 3.33 至 5.96mg/L ，顯示HRT縮短至10分仍不影響 $\text{NH}_3\text{-N}$ 硝化為 $\text{NO}_3\text{-N}$ ，而且具有縮短HRT的潛力。反應槽在正常曝氣操作下不會產生亞硝酸氮，除非操作異常，反應槽溶氧不足才會產生亞硝

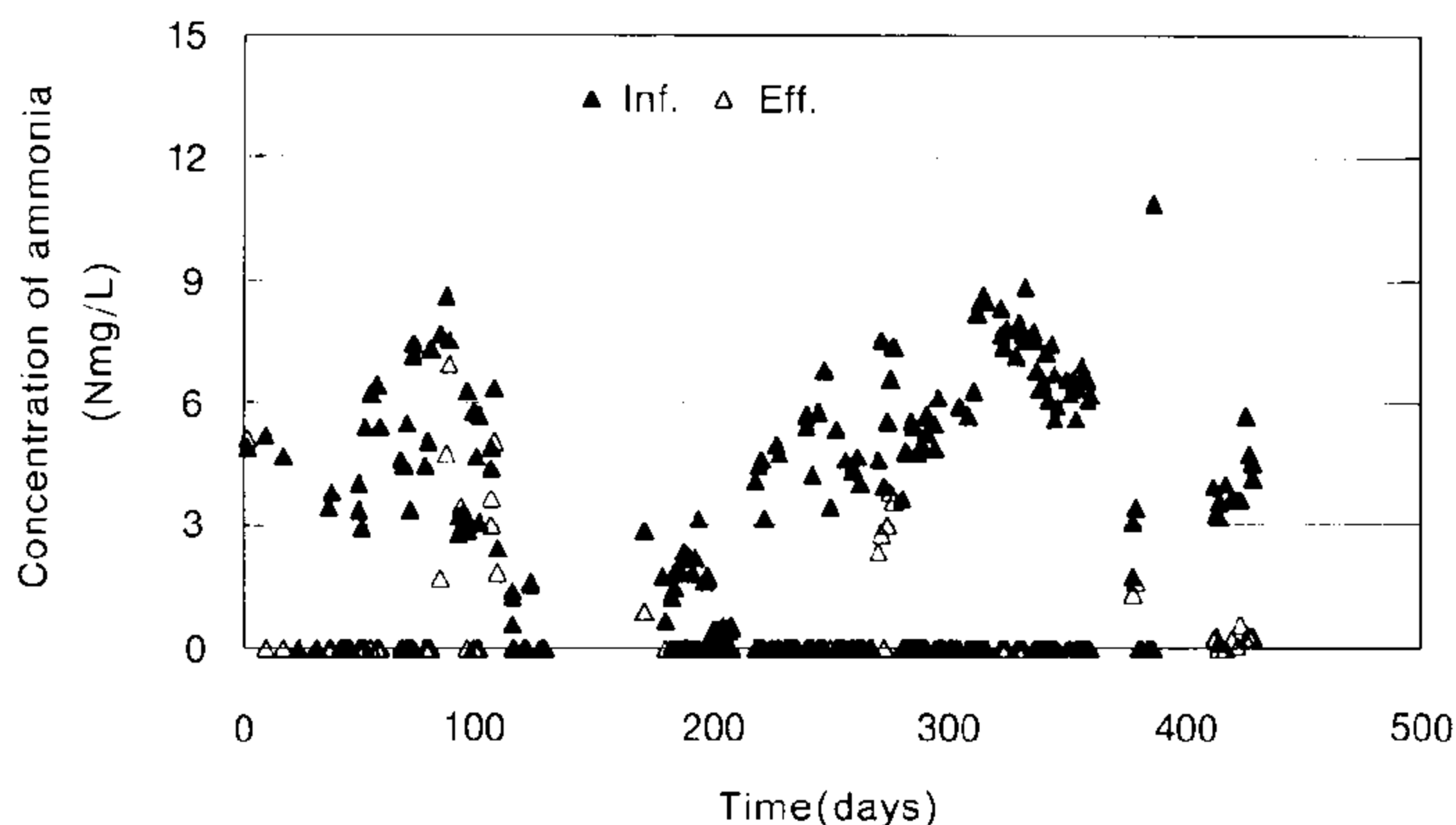


圖5 進流水與出流水氨氮濃度變動

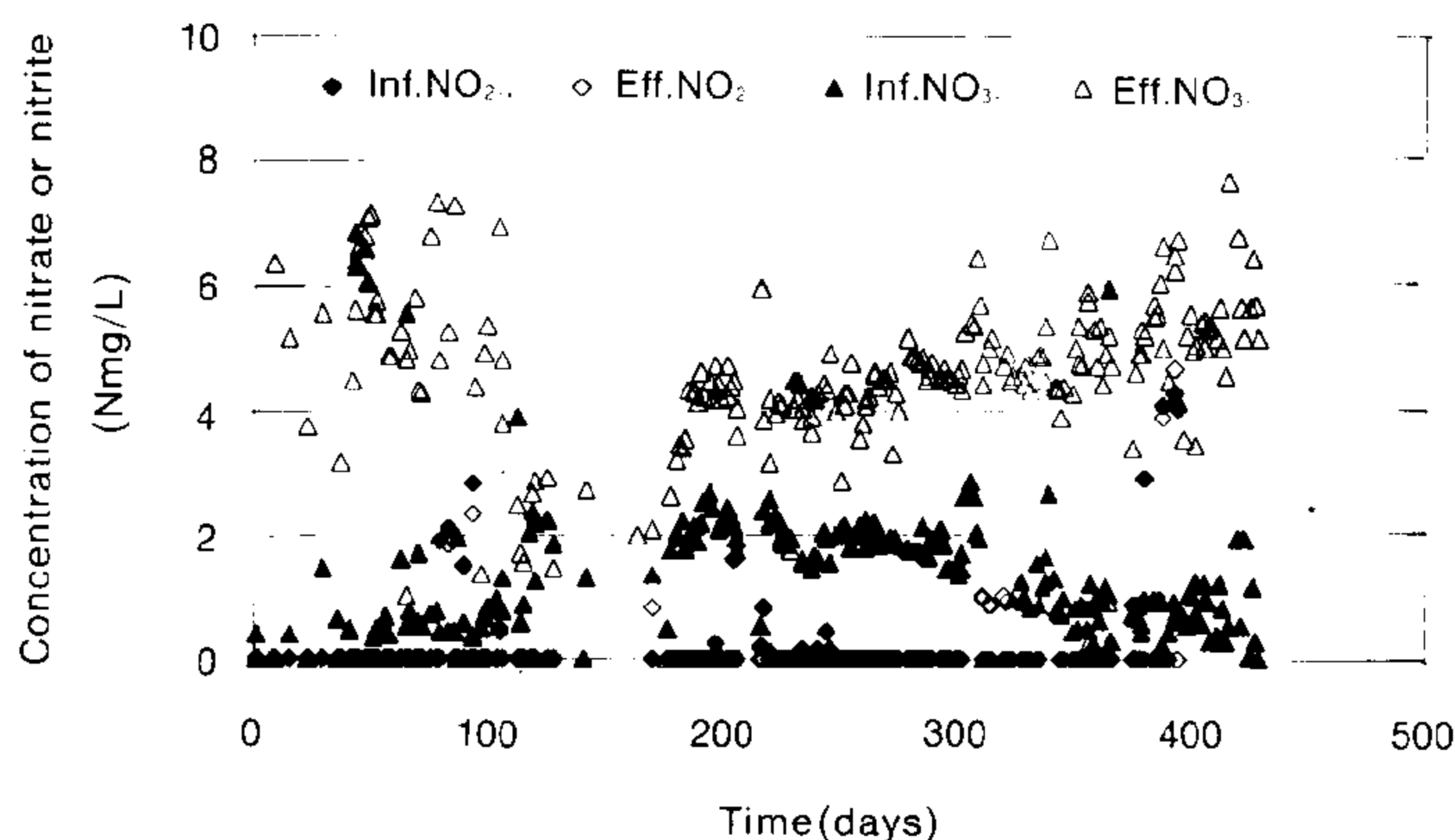


圖6 進流水與出流水硝酸氮與亞硝酸氮濃度變動

酸氮，試驗期間進流水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的總平均為 0.15mg/L ，出流水總平均為 0.11mg/L 。

本技術經模型廠測試研究，證明可應用於自來水淨水廠之原水前處理，對COD及氨氮等具有良好且穩定之處理效果，可因應處理日益受污染之水源。模型廠操作結果顯示，HRT在10分鐘以上，總COD之去除率達37~41%，溶解性COD去除率達26~37%，TOC去除率達5~38%，TKN之去除率為51~88%，氨氮去除率高達95%，具高效率淨化有機物及氨氮的效果，可降低後段處理流程之加氮量。本技術同時具有操作簡單及操作彈性大之優點，反應槽採瘦高型且水力停留時間短，可節省建造所需土地面積及反應槽體積。

應用具有多樣性

研究結果證實，BioNET技術可應用於提升二級處理放流水之品質與表面水/地下水之處理，對於去除難分解性有機物與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. 串接於既有的二級生物處理系統之後，去除廢水中難分解有機物，降低三級處理成本。
2. 污染水源當成自來水原水之前處理，去除有機物、氨氮及硝酸氮等。
3. 地下水處理，去除水中有機物、含氮污染物等。
4. 作為工廠既有生物處理系統的前處理，預先去除部分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. 應用於新設置的廢水處理系統，減少用地，簡化操作。
6. 廢水回收再利用前處理

表1所示為BioNET技術在水與廢水處理之發展現況，各類應用均在現場經過模型廠試

驗，以驗證本技術之處理效率與實廠設計參數，其中在化工業二級處理出流水之再處理上，由於具有提高放流水水質、節省物化處理操作成本的優點，該工廠已委託工研院化工所進行基本設計，並進行實廠工程建造，預計89年12月完成試車。表2為BioNET技術在各類應用之經濟效益估算，以化工業廢水為例，每天處理 1500 m^3 二級處理出流水，進流水COD 170 mg/L ，分別比較兩種處理程序之處理費用，兩種處理程序為(1)單獨Fenton處理程序處理至 80mg/L 與(2) BioNET單元處理至 110 mg/L 再串聯Fenton單元處理至 80mg/L 。根據計算結果，可發現BioNET串聯Fenton處理程序比單獨Fenton處理程序約可降低至少50%之物化高級處理費用。

結 論

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、降低二次污染、高穩定性及操作簡易等特點。對於有機污染物之處理，其成本與浸水濾床材質相近，但其處理功能為浸水濾床之二倍。由於廢水生物處理正面臨轉型的關鍵時刻，傳統生物處理程序已無法滿足日益嚴格的環保要求，本技術具有多項優點，尤其適合處理低濃度，高流量之進流水處理，極切合未來之需求。■

參考資料

1. Pascik, I., "Modified Polyurethane Carriers for Biochemical Waste Water Treat-

表1 BioNET技術在水與廢水處理之發展現況

應用類別	廢水處理		廢水回收	表面水處理		地下水處理
處理對象	化工業 二級處理出流水	造紙業 二級處理出流水	石化業廢水	河水	池塘水	地下水
處理目標	符合87年放流水標準及降低三級處理成本	符合87年放流水標準及降低三級處理成本	做為冷卻塔補充水	去除水中氨氮與有機物	去除水中氨氮與有機物	去除地下水中硝酸氮
COD 去除率(%)	20—50	30—40	40—50	20—30	30—40	—
NH ₃ -N 去除率(%)	—	—	—	85—100	80—100	—
模型廠試驗	完成	完成	完成	完成	完成	進行中
實廠	89年12月完成硬體建造與試車		完成基本設計	完成基本設計	完成基本設計	

表2 BioNET技術在各類應用之經濟效益

應用對象	二級出流水處理 ² (以化工業為例)	廢水回收前處理 (以石化業為例)	表面水處理
特點	去除殘餘COD，降低後續三級處理操作成本，符合87年放流水標準。	去除低污染廢水中之污染物，出流水可直接或進一步處理，應用為各級回收再利用。	去除水中有機物與含氮物質，可應用於淨水廠前處理或水域整治。
操作成本 ¹ (元/kg COD)	18.3	40.8	4.3
操作成本 ¹ (元/kg NH ₃ -N)	—	—	6.5
操作成本 ¹ (元/m ³)	1.3	4.9	0.1

備註：1. 操作費用未含人事費用。應用於二級出流水處理，約可降低至少50%之物化高級處理費用。

2. BioNET處理，COD由170mg/L降至110mg/L。

- ment", Wat. Sci. Tech., Vol.22, Nos.1/2, p.33-42, (1990).
2. Breitenbucher, K., "Open-Pore in Sintered Glass as A High-Efficiency Support Medium in Bioreactors : New Results And Long-Term Experiences Achieved in High-Rate Anaerobic Digestion", Wat. Sci. Tech. Vol. 22, (1990).
3. Boyle, W. C. and Wallace, A. T., "Status of Porous Biomass Support System for Wastewater Treatment: An Innovative/ Alternative Technology Assessment",

- US EPA /600/2-86/019, (1986).
4. Chang, Wang-kuan, Tzou, Wen-Yaung, Wu, Hann-Sung, Chuang, Shun-Hsing and You, Huey-Song, "Application of BioNET Process for Pretreatment of Raw Water", 7th IAWQ Asia-Pacific Regional Conference, Tapei, Taiwan, October p.18-20, (1999).
5. 張王冠、莊順興、洪仁陽、鄒文源，「應用BioNET技術處理化工業廢水二級處理出流水」，2000產業環保工程實務技術研討會，經濟部工業局，November 17, (2000)。

6. 鄒文源、張王冠、洪仁陽、吳漢松、莊順興
，「BioNET生物程序處理自來水原水之研究」，中華民國自來水協會會刊，Vol. 18,
No. 4, November, (1999)。

作者：張王冠

學歷：美國密西根州立大學土木環工系博士

經歷：75年進入工業技術研究院化學工業研究所服務，後於80年前往美國密西根州立大學深造及博士後研究，86年返回工業技術研究院化學工業研究所服務。

現職：工業技術研究院環安中心研究員

專長／研究領域：水及廢水處理技術研究開發與應用

作者：鄒文源

學歷：大華工專食品工程科

經歷：66年即進入工業技術研究院化學工業研究所前身聯合工業研究所服務，迄今共23年。

現職：工業技術研究院環安中心研究員

專長／研究領域：水及廢水處理技術研究開發與應用

作者：洪仁陽

學歷：美國以色列技術學院環工系碩士

經歷：80年即進入工業技術研究院化學工業研究所服務迄今。

現職：工業技術研究院環安中心研究員

專長／研究領域：水及廢水處理技術研究開發與應用



電機月刊

2月號第122期精彩內容介紹

變壓器的設計

專輯

～鄭奕成先生 主編～

- 三繞組變壓器概述
- 三相變二相電力變壓器
- 模鑄式變壓器振動傳達率計算
- 影響變壓器壽命的衝擊性負載
- 變壓器耐壓試驗產生過電壓共振之分析與防制
- 套管耐震設計
- 變壓器漂遊損耗及渦流損耗之降低方法(應用有限元素模式法)
- 變壓器激磁湧流之研析與實測
- 電磁場分析技術在電力變壓器設計之應用
- 變壓器絕緣設計注意要項—防止楔形間隙
- 有限元素模式法在變壓器電場強度計算之研究

光源

專輯

～林明德先生 主編～

- 近代照明光源的發展趨勢
- 從cd到lm談LED的照明應用趨勢
- 電漿顯示器PDP的發光原理與探討
- 光漫射元件
- 光觸媒紫外燈製作與應用
- 液晶投影機光源發展現況

精選文章

- 省能源環保型變壓器簡介
- 模鑄式變壓器裝用時注意事項
- 三腳非晶質鐵心模鑄變壓器
- 比流器的二次開路試驗

專欄

- 人生偶拾～
第三千紀的人類何去何從？
- 高速鐵路供電實務(24)
高速鐵路饋電線路事故標定裝置
- 變頻器的問與答(53)
- CIGRE國際大電力系統會議活動簡介 4
- 變壓器與電容器27/28