

廢水處理

Indigo(英地可)染料/硫化染料廢水處理 技術開發

巫鴻章*、林畢修平*、董金龍**、李宜忠***

摘要

本研究針對 Indigo 染料及硫化染料廢水篩選能適應極端環境($\text{pH}=10\text{-}12$)，並同時能分解有機污染物之特殊分解菌，以處理牛仔紗染整廠所產生之 Indigo 染料為主的廢水。經過特殊菌種馴養與適宜擔體的選擇及植種後，分別以 $1\text{m}^3/10\text{m}^3$ 模廠級固定生物膜反應器及現場活性污泥生物池來處理牛仔紗染整廢水。研究結果顯示，若進流水中硫化染料廢水與 Indigo 染料廢水的體積比小於 2 : 8，生物槽的溶氧值 DO 保持在 $1.0\text{-}3.0 \text{ mg/L}$ 之間，水力停留時間達 24 小時以上，生物槽中混合液懸浮固體(MSLS)控制在 $4,000\text{-}5,000 \text{ mg/L}$ ，生物處理體積負荷控制在 $1\text{kgCOD/m}^3\text{-day}$ 以下，則生物降解 COD 的功能可充份發揮，原廢水 COD 去除率達 80%以上。

【關鍵字】 1. Indigo 染料 2. 固定生物膜反應器 3. 廢水處理 4. 水力停留時間

*財團法人民生物技術開發中心環生專案研究員

**財團法人民生物技術開發中心環生專案副研究員

***財團法人民生物技術開發中心環生專案助理研究員

一、前　　言

目前台灣生產牛仔紗的染整工廠約有 10 家，總年產量在 10~25 仟萬碼^[1]，牛仔紗染整廢水的特性與其它染整廠的廢水相比較，其污染值高且廢水色度大，因此處理相當地困難，往往無法達到納管或自排標準。牛仔紗染整廢水主要包含 Indigo 染料與硫化染料製程廢水，水質中含還原劑保險粉、硫化鈉及 NaOH 等成分。目前牛仔紗染整廠的廢水處理程序，主要採先經過化學混凝處理後，再進入生物處理系統，唯此流程前化學混凝所使用的化學藥劑量高，造成大量化學污泥，增加污泥的處置費用，且將廢水中生物可分解的部份(BOD)以化學混凝先行去除，造成後續生物處理的困難度升高。

Indigo/硫化染料製程廢水中以硫化鈉的還原能力對生物處理效能的抑制最為顯著。針對硫化染料廢水而言，由於單位水量的 COD 約為 Indigo 染料廢水的 2~3 倍，若直接以生物處理硫化染料則成效不彰，倘以氧化劑交互作用來降低還原劑對微生物的影響，此法雖可提昇生物處理效能，卻大幅增加藥劑的使用成本，在廢水處理上均不符合經濟效益⁽²⁾。除此之外，目前工廠大都面臨場地不足的問題，如何在有限的空間下，將技術面完全發揮，以建立完善的廢水處理系統，實為現場操作人員與技術研發人員所面臨的最大挑戰。

固定生物膜反應器藉著生物膜之吸附作用，可在填充介質的表面及孔洞內部形成局部高密度的微生物族群，因而可提昇單位體積有機物的處理能量⁽³⁾。此系統可假想為一連續式生物反應器與吸附床相結合之複合體。其有機污染物的去除機制取決於污染物經擴散而至液膜附著及由液膜擴散進入細胞生物質量中的速率，因此整個輸送過程決定於質量傳遞速率及擴散阻力。固定生物膜反應系統於廢水處理上，具備以下諸多特色：

1. 可重覆使用及提供廣泛催化功能。
2. 可提供高密度生物質量與處理容量。
3. 於低基質濃度下仍能有效處理。
4. 具高度穩定性。
5. 處理同樣廢水量其所需之場地面積較小。

6. 可經由簡化操作及降低污泥產率。

其在處理廢水上的優點則有：

1. 可防止生物質量之洗出。
2. 提高平均細胞滯留時間。
3. 具備負荷毒性之能力。
4. 改善懸浮性處理法之微生物生長不良及處理效率不彰的缺失。
5. 增加生物膜及污染物之接觸以提高生物分解速率。
6. 可支持多樣性之微生物混合菌相以對應複雜性污染物處理。
7. 微生物生長並非維持生物觸媒分解活性絕對必要條件，因此污泥量少。

相較於傳統活性污泥法，固定式生物膜反應器單位體積處理容量較高，因此可適用於高污染負荷廢水之處理。

本研究首先篩選可適應極端環境，並同時能分解有機物之特殊分解菌，經過菌種馴養、適宜擔體選擇與菌種培養後，控制生物槽中空氣溶氧，槽中混合液懸浮固體(MSLS)，生物處理體積負荷，以及進流水中硫化染料廢水與 Indigo 染料廢水的比例。以固定式生物膜反應器及現場活性污泥生物池先對 Indigo/硫化染料廢水進行生物分解至無法繼續分解後，再調整 pH 值，以化學混凝將其餘的污染物加以去除，使最終的出流水達到現行排放水標準。針對實廠的操作策略，比較處理流程順序改變後，各階段化學需氧量的去除能力、化學藥劑節省、污泥減量等進行探討，完成整體經濟效益分析，最後建立適合現場操作之經濟有效 indigo/硫化染料廢水處理程序與技術。

二、實驗儀器

本研究所使用的實驗儀器，除了水質分析所使用的相關附屬儀器設備外，主要為固定式生物膜反應器，依據研究需要分為實驗室級與模廠級兩種，分述如下：

2.1 實驗室級

本研究實驗室級固定式生物膜反應器(IBR)，為壓克力槽體，直徑 10 公分，高度 30 公分，內部填充網狀聚亞胺酯泡棉；另外以 1:2 比例混入另一種開放式結構

4 Indigo(英地可)染料/硫化染料廢水處理技術開發

之馬鞍型拉希環，提供高比表面積($210\text{ m}^2/\text{m}^3$)之孔隙讓微生物著床，並生成生物膜。以水力停留時間 12 小時計算，通氣量以達到溶氧值 $\text{DO}=1.0\text{-}3.0\text{ mg/L}$ 為準，每天約可處理 7.5L 的廢水。圖 1 為本研究實驗室級固定生物膜反應器，由上部進流，下部出流，而在底部進行通氣。

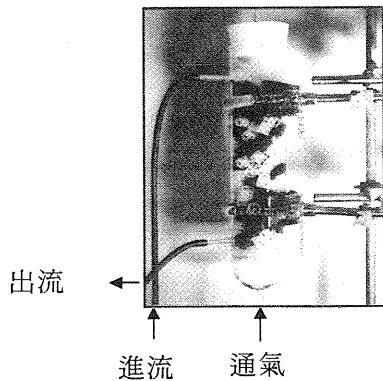


圖 1 實驗室級固定式生物膜反應器

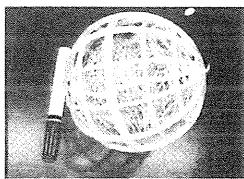
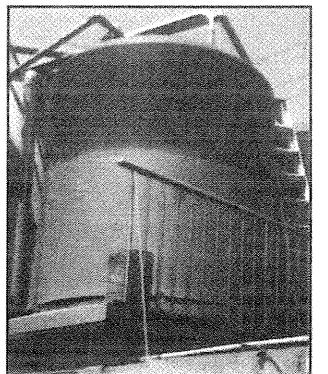
2.2 模廠級

藉由小型實驗結果將實驗室級 IBR 規模放大至 $1\text{m}^3/10\text{m}^3$ 模廠級，於現場處理 Indigo 染料及硫化染料廢水，其外觀及擔體形狀與規格如圖 2 所示。 1m^3 槽體直徑為 1.085m ，高度為 1.38m ； 10m^3 槽體的直徑為 2.275m ，高度則為 3.05m ，內部填充擔體(生物濾球)，規格如表 1，以維持高濃度之固定生物質量($\text{MLSS}>4,000\text{ mg/L}$)，並達到高效率之 COD 與 BOD 去除效果。濾球的直徑為 15cm ，填充率則分別為 0.87 及 0.6，水力停留時間則介於 12-24 小時之間，通氣量以達到溶氧值 $\text{DO}=1.0\text{-}3.0\text{ mg/L}$ 為準，每天廢水的進流量對小型槽而言介於 $1\text{m}^3\text{-}2\text{m}^3$ 之間，對大

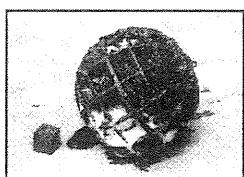
型槽而言則介於 5-10 m³之間，所採用的菌種為自行由庫存菌種針對現場 Indigo 染料廢水所篩選出來之特殊菌種，經由適當的操作條件加以馴化培養。

表 1 模廠級固定式生物膜規格

型式	直徑	單位體積 比表面積	球體重量/球 體體積比	孔隙率	材質
D-150A	15cm	150	1.06 可依廢水性 質需要調整	93%	PE (HPE/PP/PVC)



(a)新的生物濾球



(b)生物膜長成後之生物濾球

圖 2 模廠級固定式生物膜反應器與擔體規格

三、研究與實驗方法

針對 Indigo 染料廢水進行有效菌種篩選，經過植種培養後，除提昇現場活性污泥池的生物處理效能外，並於現場建立模廠級固定式生物膜反應器，取代生物池，平行進行降解試驗，經過各階段廢水處理流程長時間的採樣分析結果，比較兩者的廢水處理效能。圖 3 為本研究進行的詳細流程，主要的研究步驟包括：

1. 現場現狀分析；
2. Indigo 降解有效菌篩選；
3. 生物處理系統建立(含現場活性污泥生物池及固定式生物膜反應器)；
4. 生物處理效能比較；
5. 現場廢水處理流程變更；
6. 藥劑使用量與污泥減量評析；
7. 整體經濟效益分析。

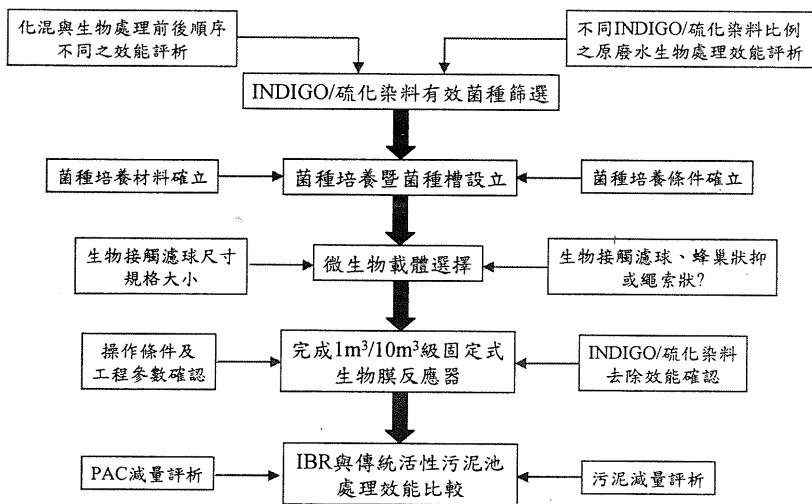


圖 3 本研究進行的詳細流程

在有效菌種篩選方面，本研究以比攝氧速率測定法作為降解有效菌的篩選方法。此法多年前已經由國內成功大學環境工程學系鄭幸雄教授開發使用⁽⁴⁾，後來經過多位學者加以修正，並建立亞硝酸菌與硝酸菌回分式溶氧電極攝氧速率測定法。此方法加以修正亦可應用於異營菌的生物活性測定。本研究將此方法應用於 Indigo 染料廢水有效降解菌的初步篩選，測定當添加原廢水後微生物的攝氧速率較未添加時為快者，判定此菌種可能為降解之有效菌。

另外，本研究所採用的相關水質分析方法，舉凡 COD、MLSS、溶氧值、pH、色度、氮磷離子濃度等，均依照 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 標準方法進行分析。實驗所採用的試劑除非特別指明，均購自 merck 公司。

四、結果與討論

4.1 現場改良前狀態分析

圖 4 為現場原廢水長時間採樣分析 COD 約 1,000~2,800 mg/L 的變化情形。由分析結果顯示現場原廢水的 COD 變異相當大，隨著製程生產藍色(Indigo 染料)與黑色(硫化染料)牛仔布比例的變更，水質始終呈現一極不穩定的狀態。

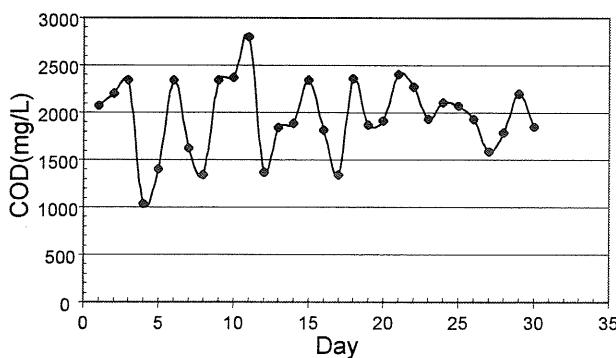


圖 4 長時間採樣分析現場原廢水 COD 變化

8 Indigo(英地可)染料/硫化染料廢水處理技術開發

圖 5 為牛仔紗染整廠現行的廢水處理流程，前段化學處理使用大量化學混凝劑去除廢水中的有機污染物，除導致大量化學污泥的產生外，更使後續的生物池營養源不足，微生物生長情況不佳，生物處理效能始終不彰，因而停用生物池。

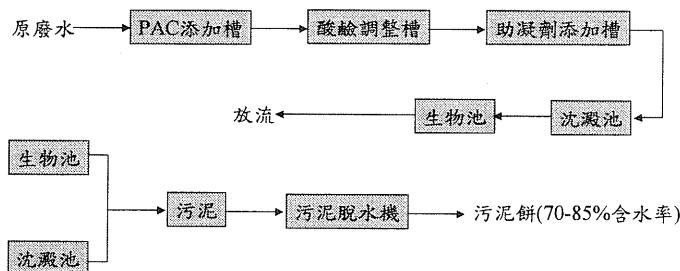


圖 5 牛仔紗染整廠廢水處理流程

表 2 為現場廢水處理系統改良前，原廢水及放流水水質。由表可看出原廢水只經過一段化學混凝處理便排放至工業區污水下水道，即便添加過量的化學混凝劑，COD 的去除率僅約 45%，排放水中殘餘的 COD 值仍高達 1,000mg/L 以上，因此工廠常面臨罰單與工業區納管費用高漲的問題，同時因為添加過量的混凝劑，致使放流水 pH 偏低，為使放流水的 pH 穩定，常需添加大量的酸鹼液以調勻。

表 2 現場改良前原廢水及處理水水質

原廢水 COD (mg/L)	排放水 COD (mg/L)	COD去除率	原廢水 pH	排放水 pH
1,985	1,095	44.8%	10.2	5.8

4.2 現場生物系統處理效能提昇

4.1.1 Indigo 染料廢水有效分解菌篩選

欲提昇該廠廢水系統處理效能，首先需健全生物處理單元，這部份的工作除了硬體設備(如：曝氣設備改善提昇溶氧值)的配合之外，主要在於有效菌種的篩選、植種與培養。本研究利用菌種攝氧率的測試方法，以所保存的不同污泥混合菌種進行測試，結果如表 3 所示。由結果顯示當添加 Indigo 染料廢水進入污泥菌種之後，石化(一)與石化(二)兩者污泥菌種的呼吸率均呈現急速下降的情況，顯示 Indigo 染料廢水並無法作為這些微生物生長的基質；然而針對染整污泥菌種而言，添加 Indigo 染料廢水不僅不會使污泥中微生物的呼吸率下降，更有上升的趨勢，顯示微生物的活動力增加，Indigo 染料廢水可能可作為此股污泥菌種的基質，而此混合菌種可能為降解之有效菌。

表 3 各污泥菌種添加 Indigo 染料廢水後攝氧率變化

污泥菌種來源	污泥空白 OUR (mgO ₂ /Lhrs)	添加 Indigo 廢水後 OUR (mgO ₂ /Lhrs)
石化(一)	20.3	1
石化(二)	20.3	0.8
混合染整污泥	20.3	30.5

為了進一步確認混合染整污泥的菌種是否真具有降解 Indigo 染料廢水中有機物的能力，將此菌種針對 Indigo 染料廢水進行搖瓶試驗，測試其處理效能，結果如圖 6 所示。由圖 6 可明顯看出隨著水力停留時間的延長，出流水的 COD 漸次下降，以兩天的水力停留時間而言 Indigo 染料廢水中的 COD 去除率甚至可高達 90%以上，顯示混合染整污泥中的菌種的確適用於處理 Indigo 染整廢水。

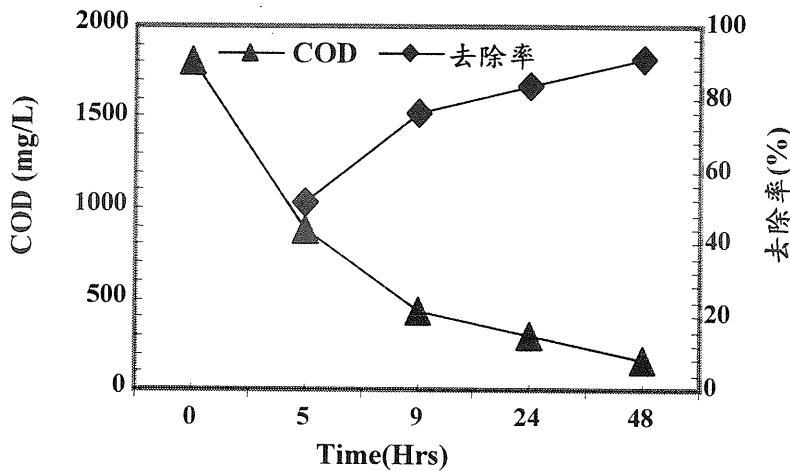


圖 6 Indigo 染料廢水降解有效菌之處理效能

4.2.2 廢水處理流程變更效益分析

表 2 顯示將化學混凝系統置於生物處理系統之前，化學藥劑的使用量大，更會導致後續生物處理系統微生物生長基質不足，處理效能不彰。表 4 為在實驗室利用搖瓶測試比較兩種不同廢水處理流程，對 Indigo 染料廢水處理效能的影響。

在第一個流程中，原廢水先經前化學混凝處理，再進行生物降解水力停留時間 24 小時，最後再經過另一道化學混凝處理；另一流程，則以 24 小時水力停留時間的生物處理作為第一個處理單元，最後再輔以化學混凝處理。由表可清楚發現，在第一個流程中以 2,500 mg/L 的化學藥劑進行前化學混凝，COD 的去除效率僅約 45%，而藉由後續生物的作用亦只能將去除率再提昇 28%，即便最後再以 500 mg/L 的化學藥劑進行混凝，總去除率仍只能達到 80%，出流水的 COD 仍高達 400 mg/L 左右。相反地，若將原廢水直接進行生物處理，則此單元 COD 的去除率便高達 78%，後續加上混凝系統處理，整體的去除效能更可高達 90%以上，且可降低化學藥劑使用量。因此建議現場將廢水處理流程修改為先生物處理，後化學混凝。

表 4 不同廢水處理流程 Indigo 染料廢水處理效能比較

流程 一	原水 COD (mg/L)	前化混 PAC (2,500mg/L)	生物處理 COD	後化混 (PAC500mg/L)
	1,985	1,095 (44.8%)	540 (72.7%)	391 (80.3%)
流程 二	原水 COD (mg/L)		生物處理 COD	後化混 (PAC500mg/L)
	1,985		440 (77.8%)	174 (91.2%)

4.3 硫化染料廢水對生物處理效能之影響

一般的牛仔紗染整廠除了生產藍色的牛仔布之外，通常亦會搭配生產少許的黑色牛仔布，因而所產生的廢水當中除了 Indigo 染料之外，通常亦含有硫化染料。本研究對象現場所產生的廢水並未進行分流，欲建立完善的生物處理系統，必需能夠同時處理 Indigo 染料廢水與硫化染料廢水。表 5 乃利用表 3 中所篩選出來的 Indigo 染料廢水降解有效菌種針對不同比例的 Indigo/硫化染料混合廢水進行 OUR 測試的結果。由表上的數據可發現，硫化染料並無法作為混合菌種之基質，因而微生物攝氧率相較於污泥空白下降甚多。另一方面混合不同比例的硫化染料與 Indigo 染料廢水加入菌種污泥當中，發現微生物呼吸率雖然隨著硫化染料廢水添加的比例增加而下降，但依舊較污泥空白為高。

表 5 硫化染料廢水對 Indigo 降解有效菌攝氧率影響

樣 本	OUR(mgO ₂ /Lhrs)
污泥空白	9.19
添加 Indigo 染料廢水	23.7
添加硫化染料廢水	2.3
添加硫化染料廢水：Indigo 染料廢水=2:8	21.7
添加硫化染料廢水：Indigo 染料廢水=1:1	20.2

12 Indigo(英地可)染料/硫化染料廢水處理技術開發

經由上述 OUR 的測試結果顯示若將硫化染料與 Indigo 染料廢水經過適當比例混合，再藉由 Indigo 降解有效菌加以分解似乎是一個可行的方向。表 6 乃利用搖瓶試驗測試 Indigo 有效分解菌針對不同比例之硫化染料與 Indigo 染料廢水不同水力停留時間下之處理結果。由表可看出 Indigo 染料有效降解菌種對純的硫化染料廢水完全沒有處理功能。比較不同比例的混合發現，微生物的降解效能隨著硫化染料的比例上升而漸次下降，24 小時水力停留時間 COD 去除率由原先的 87.7%(純 Indigo 染料廢水)下降至 62.4%(硫化: Indigo=1:1)。欲增加 COD 的去除率，唯一的方法乃延長水力停留時間，當水力停留時間延長為 48 小時後，即便硫化染料與 Indigo 染料廢水各半，去除率仍能高達 90%左右，顯示將硫化染料與 Indigo 染料廢水混合處理的確可達到污染物降解的目的。然而，現場侷限於空間的不足，廢水處理水力停留時間最長僅約 24 小時，因此基於現場生物處理效能能作最大的發揮，硫化染料與 Indigo 廢水最佳的混合比例為 2:8，此時水力停留時間 24 小時之內，COD 的去除率仍可達 82%以上。

表 6 Indigo 有效分解菌針對不同比例之綜合染料廢水之處理結果

Time(hrs)	24		48	
	COD (mg/L)	去除率(%)	COD (mg/L)	去除率(%)
硫化廢水	1,725	0		
Indigo 廢水	218	87.7		
硫化: Indigo =9:1	245	86.2		
硫化: Indigo =8:2	310	82.4		
硫化: Indigo =3:7	600	65.7	153	91.2
硫化: Indigo =1:1	650	62.4	212	87.7

4.4 固定式生物膜反應器處理效能

有鑑於現場空間受限，開發固定式生物膜反應器以取代現場懸浮式生物處理

系統應是可行的方向。將篩選出來的有效菌植種於載體上，經適當的馴養與培養後長出生物膜，建立固定式生物膜反應器。表 7 及表 8 乃利用兩階段串聯式實驗室級固定式生物膜反應器(HRT=12hrs)分別針對 Indigo 染料廢水與硫化/Indigo 染料混合廢水(2:8) 處理的結果。由表 7 可看出在水力停留時間 12 小時之內，固定式生物膜反應器對 Indigo 染料廢水 COD 的去除率高達 86.1%，與 HRT=24 小時的搖瓶試驗結果相當，若再經由另一串聯的 IBR 加以處理(亦即水力停留時間延長為 24 小時)，則 COD 去除率更可高達 92.5%，顯示固定式生物膜反應器相較於懸浮微生物系統的確具有較佳的處理容量。由表 8 我們亦可清楚發現 IBR 的優勢所在，可在較短的水力停留時間下，針對硫化染料與 Indigo 染料混合廢水同樣達到較佳的處理效能。圖 7 乃經過兩階段固定式生物膜反應器處理後 Indigo 染料廢水色度的變化，由圖可清楚看出藉由廢水中有機污染物的去除，廢水的色度亦會隨之下降，整體處理效果相當良好。

表 7 實驗室級固定式生物膜反應器對 Indigo 染料廢水之處理結果

	原水 COD(mg/L)	處理後 COD(mg/L)	去除率(%)
IBR(1)	1,600	223	86.1
IBR(2)		120	92.5

註：停留 12hrs

表 8 實驗室級固定式生物膜反應器對硫化/Indigo 染料 2:8 混合廢水之處理結果

	原水 COD(mg/L)	處理後 COD(mg/L)	去除率(%)
IBR(1)	1,350	61.7	95.4
IBR(2)		46	96.6

註：停留 12hrs

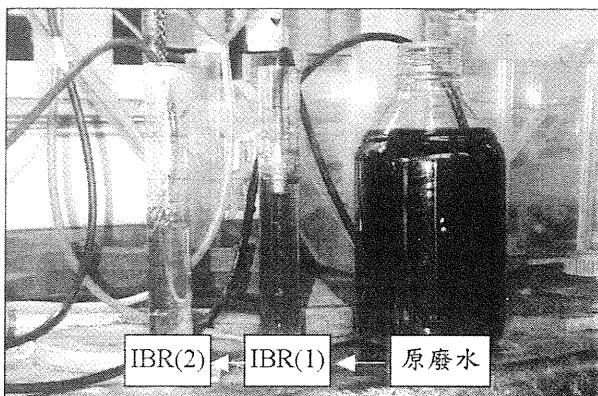


圖 7 兩階段固定式生物膜反應器處理後 Indigo 染料廢水色度之變化情形

將實驗室級 IBR 規模放大，在現場設立 $1m^3$ 與 $10m^3$ 模廠級固定式生物膜反應器，相關的工程參數如表 9 所示。 $1m^3$ 與 $10m^3$ 級 IBR 擔體的填充率分別為 87% 與 60%，水力停留時間視欲達成的處理效果而定，一般而言小於 24 小時，反應槽內的溶氧控制在微生物足夠使用的狀態，介於 1.0-3.0mg/L 之間。

表 9 現場模廠級固定式生物膜反應器設計工程參數

	擔體填充率(%)	水力停留時間(hrs)	溶氧值(mg/L)
$1m^3$ 級 IBR	87	12	1.0-3.0
		24	1.0-3.0
$10m^3$ 級 IBR	60	12	1.0-3.0
		24	1.0-3.0

以模廠級 IBR 針對 Indigo 染料廢水進行處理，並將成果與實驗室級 IBR 及現場改善後之活性污泥池生物處理系統相比較結果示於表 10。由表中的數據可發現，實驗級的 IBR 處理效能最佳，可在水力停留時間 12 小時的情況下，去除 90% 的 COD，而模廠級 IBR 相較於現場改善後之生物池，可在較短的水力停留時間 (12hrs<19.2hrs) 下，承受較高的有機負荷($4.41 > 2.76 \text{kgCOD/m}^3\text{day}$)，達到較佳的處理效能，顯示 IBR 的處理容量的確較懸浮式生物處理系統為高。

表 10 各生物處理系統 Indigo 染料廢水處理效能比較

	體積負荷 (kgCOD/m ³ day)	水力停留時間(hr)	原水 COD (mg/L)	排放水 COD (mg/L)	去除率(%)
實驗室級 IBR	1.78	12	890	88	90.1
1m ³ IBR	4.41	12	2,205	310	85.9
10m ³ IBR	4.41	12	2,205	350	84.1
現場 生物系統	2.76	19.2	2,205	367	83.4

針對現場原廢水以 10m³ 級固定式生物膜反應器處理後再輔以後化學混凝進行長期試驗，並將處理成果與現場單純只以前化學混凝(現場改善前處理流程)處理的結果相比較示於圖 8。由圖可明顯看出現場未改善前單純僅藉由化學混凝處理原廢水，排放水的 COD 仍在 1,000mg/L 以上，甚至高達 1,500mg/L，對於環境的影響甚劇；而藉由 IBR 系統的建立，當現場製程只產生 Indigo 染料廢水時，經由 10m³ 級 IBR 與後化學混凝處理後的放流水 COD 均可在 300mg/L 以下，甚至達到放流水標準(COD<160mg/L)。雖然當製程所產生的硫化染料廢水比例升高時，在水力停留時間 12 小時之內，IBR 的去除效率降低，致使出流水的 COD 有些微

上升的現象發生，然而待硫化染料廢水不再排入後，整體 COD 的去除效能又會回恢復到原來的程度。此現象顯示排放水的水質受生物處理效能的影響甚大，原廢水中硫化染料與 Indigo 染料廢水的混合比例需要嚴密監控。

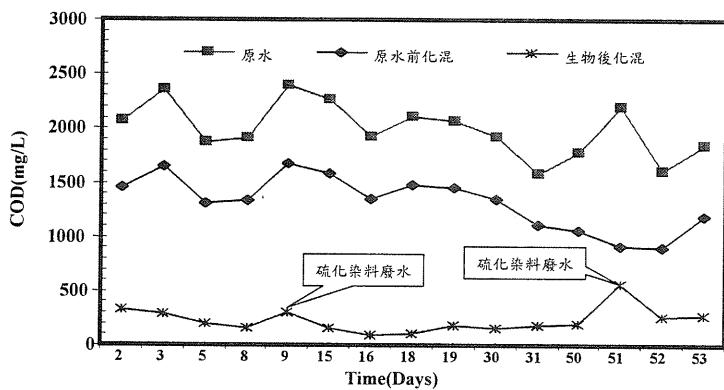


圖 8 10m³ 模廠級 IBR 暨後化學混凝處理及單純化學混凝處理 COD 去除效能

4.5 現場廢水處理程序最適化

經由上面的研究成果，可作下列幾個結論：

- 1.生物處理單元為整個廢水處理流程的核心所在，功能必須健全；
- 2.廢水處理程序以先生物處理後輔以化學混凝可得到較佳的處理成效；
- 3.以固定式生物膜反應器取代懸浮式生物處理系統，可提昇廢水處理效能。

基於上述研究結果，除了藉由有效降解菌的植種將現場生物處理系統建立起來之外，同時將現場廢水處理流程修改如圖 9 所示，亦即將生物處理單元移至化學混凝單元之前，以提昇整體廢水處理效能。

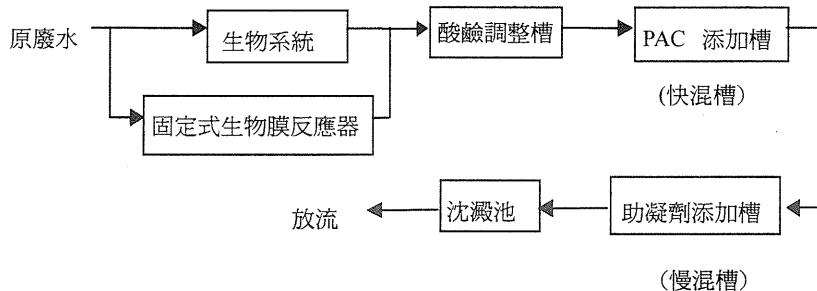


圖 9 現場改良後之廢水處理流程

欲健全整個生物處理系統，除了有效降解菌種的開發外，硬體的配合是另一個須注意的重點。藉由實驗室研究的結果發現生物降解功能要發揮良好，則生物池中的溶氧值須介於 1.0-3.0mg/L，因而建議工廠增設鼓風機以提昇溶氧值。圖 10 表示生物池功能改善後，生物池出流水 COD 與生物池出流口處溶氧值之關係。當生物池處理效能穩定之後(運轉 15 天後)，開始測量生物池出流口處的溶氧值，由出流水 COD 的變化，我們可明顯看出，出流水水質會隨著出流口溶氧值而變化，當生物池中的溶氧值昇高時，出流水的 COD 會隨之降低，當 $DO > 4.0\text{mg/L}$ 時，出流水 COD 甚至會小於 160 mg/L 。欲保持生物池出流水 COD 去除率 80%以上，出流口溶氧值須介於 1.0-3.0mg/L 之間。由此可知，生物池出流口的溶氧值可作為生物系統降解功能的預測指標。

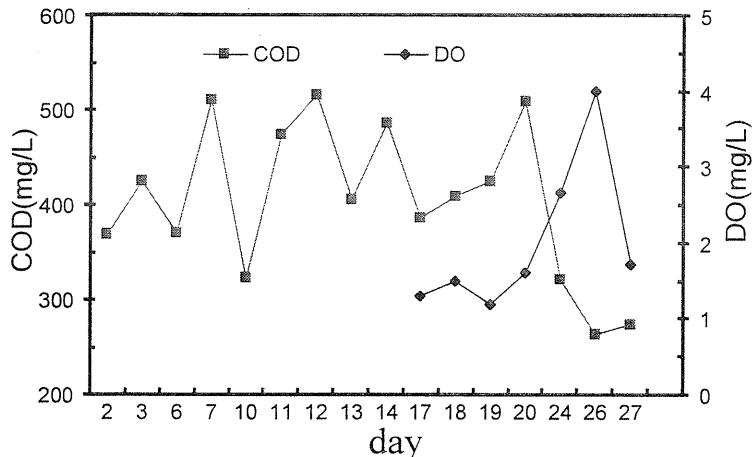


圖 10 生物池出流水 COD 與出流口處溶氧值之關係

除此之外，針對硫化染料對生物處理效能的影響，將現場製程所生產的硫化染料廢水先行儲存，再以適當配比與 Indigo 染料廢水混合後再進入生物池中，以降低硫化染料廢水對生物處理系統的衝擊。圖 11 為現場硫化染料處理策略建立前後生物池排放水 COD 的變化曲線圖。由圖可發現當生物處理系統功能健全後，初期的硫化染料廢水一旦產生便直接排入生物池當中，導致生物池的負荷過大，現場放流水 COD 會突然上升，待硫化染料廢水停止生產經過一段緩衝時間後，生物系統的處理功能恢復穩定，因而導致放流水水質常常隨著硫化染料廢水的產生忽高忽低；然而當整個處理策略建立之後，硫化染料廢水產生後先行儲存，再視 Indigo 染料廢水量以小於 20%的比例慢慢釋放入生物池中，發現生物池排放水水質的變異漸漸變小，到末期生物處理功能穩定之後，生物池出流水的 COD 甚至可達到 200mg/L 以下，若以此策略輔以後化學混凝進一步加以處理，最後的放流水已可達到排放水標準。

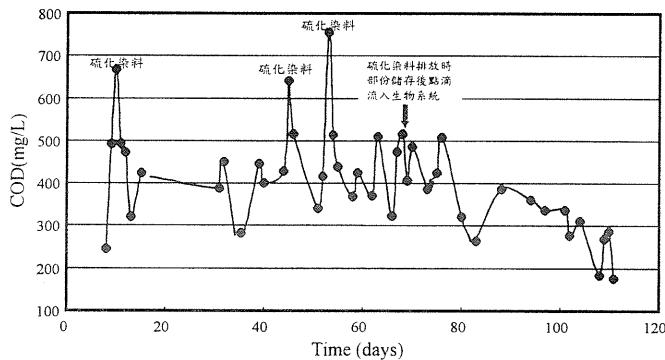


圖 11 現場硫化染料處理策略建立前後生物池排放水 COD 變化

4.6 廢水處理經濟效益分析

經過長時間的運轉，統計廢水處理系統改善前後各類化學藥劑的使用量，表 11 及表 12 分為別現場廢水處理系統改善前後硫酸鋁及液鹼使用量變化情形。改善前硫酸鋁每月的平均使用量高達 60,000L 以上，處理每噸廢水使用量為 10.25L，液鹼月平均使用量為 12,198L，每噸廢水使用量為 2.19L，系統改善後，整個廢水處理系統不再使用液鹼，且硫酸鋁的使用量下降到每噸廢水 4.2L。

表 11 現場廢水處理系統改善前硫酸鋁與液鹼使用量

月份	硫酸鋁用量(L)	液鹼用量(L)
一月	47,630	15,380
二月	42,980	9,740
三月	48,910	14,020
四月	63,550	17,740
五月	59,740	8,910
六月	61,260	7,400

表 12 廢水處理系統改善後硫酸鋁與液鹼使用量

六月份硫酸鋁用量(L)		七月份硫酸鋁用量(L)		八月份硫酸鋁用量(L)	
6/04	9,220	7/05	10,420	8/05	9,370
6/08	9,320	7/10	9,660	8/13	10,030
6/14	9,950	7/17	10,050	8/22	10,790
6/17	7,980	7/22	2,320	8/28	7,630
6/22	7,460	7/27	9,220		
6/26	8,130				
6/29	9,200				
合計	61,260	合計	41,670	合計	37,820

經過長時間統計，將廢水處理系統改良前後排放水水質與管末處理整體成本分析結果示於表 13。由表上的數據可清楚看出除了放流水水質大幅改善之外，包括：液鹼與硫酸鋁混凝劑的使用量均大幅減少，同時亦間接使得污泥產量大幅降低，整體管末處理成本以日廢水量 200CMD 而言，每月可節省 54 萬元左右，顯示本研究所建立的技術的確可幫助牛仔紗染整業者在兼顧環保之餘，更可達到節省成本提高競爭力的目的。

表 13 現場廢水處理系統改良前後長時間運轉下管末處理成本分析

		COD (mg/L)	用水量 (m ³ /hr)	色度 (ADMI)	硫酸鋁 (噸/月)	液鹼 (噸/月)	污泥量 (噸/月)	處理費用 (萬元/月)
改善前	Indigo 染料廢水	1,000	5.5	35,000	10	13.5	93.4	98.9
	硫化染料廢水	1,600	9	100,000	14			
改善後	Indigo 染料廢水	330	4.1	350	4	0	53	45.5
	硫化染料廢水	600	6	2,600	6			
改善成效 (%)	Indigo 染料廢水	67	25.5	99	60	100	43.2	53.9

註：處理費用含污泥清理成本

五、結論

本研究經由特殊微生物的篩選植種與培養可健全現場的生物處理系統。研究結果顯示將既有廢水處理流程修改為先以生物處理後化學混凝可大幅節省化學藥劑的使用量，並減少污泥產量，同時提昇整體處理效能。在硫化染料廢水的處理方面，只要比例低於 20%，則可在水力停留時間 24 小時之內，達到 COD 去除率 80%以上，倘整個生物處理系統濃度穩定，生物池出流水可達 200mg/L 以下，輔以後化學混凝系統，最後的排放水可達直排標準。

另外，工廠大部份均面臨空間不足的問題，以固定式生物膜反應器取代現場的生物處理系統，可在較短的水力停留時間下，處理較高體積負荷的進流水，同時達到較佳的處理效果，以此技術配合現場廢水處理流程的改變，可在有限的空間下建立完善的牛仔紗染整廢水處理系統，節省管末處理成本，大幅提昇廠家的市場競爭力。

六、誌謝

本研究乃由經濟部技術處的科專計畫經費所支持。晨裕紡織股份有限公司在現場操作與採樣事宜上的配合在此一併致謝。

七、參考文獻

1. 台灣區棉布染整公會統計資料，經濟部 91 年科技專案研究計畫”染整產業廢水生物處理技術整合”。
2. 吳欣蓉“紫外線/氧化處理”，環保技術 e 報，第五期，92 年七月。
3. “染整工程與廢水處理效能提昇技術手冊”，經濟部技術處。
4. 鄭幸雄、郭獻文、曾怡禎、黃平志、吳哲宏”對苯二甲酸之厭氧生物分解特性研究”。第二十一屆廢水處理技術研討會論文集，pp.565-572，1996。
5. K. Svardal, S. Lindtner and S. Winkler, ”Optimum aerobic volume control based on continuous in-line oxygen uptake monitoring”, Water & Technology, 47,

22 Indigo(英地可)染料/硫化染料廢水處理技術開發

- pp.305-312 (2003).
6. B. Rusten, M. McCoy, R. Proctor and G.S. Jon," The innovative Moving Bed Biofilm Reactor/Solids Contact Reaeration Process for Secondary Treatment of Municipal Wastewater", Water Environment Research, Vol. 70, No. 5, pp.1083-1089, 1998.
 7. I. Pascik," Modified Polyurethane Carriers For Biochemical Waste Water Treatment," Wat. Sci. Tech., Vol. 22, No.1/2, pp.33-42, 1990.
 8. W. G. Characklis and K. C. Marshall," Biofilms," a Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, INC.
 9. 陳國誠、吳健一，微生物固定化技術在廢水處理的應用，工業污染防治，第 68 期，pp.1-23，民國 87 年 10 月
 10. 曾治乾、鄭維薇、陳榮耀、陳文卿、鄭幸雄，內包性生物擔體微結構與菌相之觀察分析研究，第二十三屆廢水處理技術研討會論文集，民國 87 年 11 月
 11. 游惠宋，多孔性載體在廢水處理之應用，1997 年廢水處理技術研討會，經濟部技術處、工業技術研究院化學工業研究所
 12. 謝子陽、白淑玲、洪克銘、陳啟祥、林玉寶、阮慕玲、徐雅芬、陳章呈，固定生物膜反應器對 COD 及酚去除之研究，財團法人生物技術開發中心，第二十四屆廢水處理技術研討會論文集，pp.449-456, 1999