

## 廢水回收再利用

# 工業廢水回收至製程再利用之高效率 生物/物化複合處理技術

徐毓蘭\*、巫鴻章\*、林畢修平\*、李宜忠\*\*、劉照國\*\*

### 摘 要

本文探討以日處理量 50CMD 的模廠級生物活性碳(bio-activated carbon, BAC)/薄膜過濾(membrane separation, MS)複合系統,針對經過 ODOBEZ 系統處理過後之染整廠二級放流水加以回收。經由 BAC 本身的吸附與生物降解的作用,二級放流水的化學需氧量與色度均可進一步加以降低,再藉由 MS 對廢水中的導電度加以去除,則所回收的水可直接用於製程染色之上。藉由微生物的作用,此複合系統不僅可降低活性碳的反洗與更換頻率,並由於進流水質的改善,可大幅緩和薄膜的結垢現象,延長薄膜的使用年限。實驗結果顯示,二級放流水的 COD 若介於 100-200mg/L 之間,則 BAC 可在水力停留時間 4 小時之內,使出流水的 COD 下降至 50-80mg/L。在濃縮廢液可直接排放的前提下,則廢水回收率可高達 50%。經過長時間的運轉,對本系統的操成本進行詳細的經濟分析,結果顯示回收每噸的廢水到製程染色上使用變動成本僅約 9.14 元。

【關鍵字】1.廢水回收 2.生物活性碳 3.薄膜過濾 4.電導度 5.色差值

---

\*財團法人生物技術開發中心環生專案研究員

\*\*財團法人生物技術開發中心環生專案助理研究員

## 一、前 言

染整業由於製程中大量使用染料與化學藥劑，導致廢水中的電導度相當高<sup>(1)</sup>。在所有污染物質當中，包括：COD、濁度、色度與電導度等，電導度一般廢水處理難以去除，且又影響染色製程品質甚深。因此如何開發一能吻合經濟效益，且達製程回收的廢水回收再利用技術，乃我們當前所面臨的最重要課題。

傳統廢水處理上常用的方法可分為物化處理與生物處理兩大類。通常將物化方法與生物方法加以結合用於初級與二級廢水處理。無論處理流程的順序，只要各單元的功能健全，通常均可將廢水中的 COD、濁度與色度去除至一定程度。然而對廢水中離子所造成的導電度而言，往往無法經由初級及二級處理系統來加以去除，因此額外的處理設備往往難以避免。有關於電導度的去除，目前市面上常見的方法包括：蒸餾、電透析(electro dialysis, ED)或倒極式電透析薄膜(electro dialysis reversal, EDR)、離子交換(IE)與薄膜分離(MS)<sup>(2,3)</sup>等等。在這些方法當中，蒸餾熱能損耗較高；離子交換則由於初設費高，需額外設備來處理大量的再生廢液，倒極式電透析薄膜(EDR)在新研究階段較多，因此在成本的考量上，薄膜分離較常用於工業廢水的大量回收。而在薄膜過濾方面，進流水被強制分離成濾液及濃縮液，經由選擇適當的薄膜，可將電導度去除至適合回用水質，且可在符合經濟效益的前提下，回收到製程上再利用。

高品質且水質穩定的進流水是緩和薄膜結垢速率並延長薄膜使用年限所必須<sup>(4,5)</sup>，因此薄膜過濾通常需要良好的預處理系統。常見的預處理系統包括：砂濾、微過濾、超微過濾及高級生物處理系統(固定式生物膜反應器或生物活性碳反應器)等。本研究高級生物預處理系統採用生物活性碳(Bio-activated carbon, BAC)，生物活性碳處理技術包含三種反應機制，即活性碳吸附和生物膜之生物處理程序及活性碳生物再生作用。透過系統的反洗機制將外層之生物膜做定期反洗，有利於系統持續進行吸附分解脫附再生，達到水資源回用高級生物預處理系統的建立。生物活性碳相較於其他預處理系統，具有下面幾個優點更適合當作薄膜過濾的前置處理單元。(1)高降解能力的特殊菌種，在活性碳的表面及孔洞內形成生物膜<sup>(6,7)</sup>，可對 COD 進一步加以去除，同時可吸附廢水中的懸浮固體，對

於低有機負荷的廢水處理特別有效；(2)單位體積菌體密度極高，因此處理容量大，在相同的處理容量下，可節省反應槽體積；(3)微生物對環境變異的容忍度高，因此出流水水質穩定；(4)所有的操作均在常溫常壓下進行，相較於其他預處理系統更為經濟可行；(5)生物活性碳因有快速吸附作用，對於排放水進行薄膜分離系統前有改善及穩定水質功能。

本研究以染整廠經過 ODOBEZ 系統處理過後二級放流水作回收的對象。以 50CMD 模廠級的生物活性碳/薄膜過濾覆合系統進行實驗，利用化學分析與染色測試長期監控回收水與各階段排放水的水質，最後並進行詳盡的經濟分析。

## 二、實驗儀器

圖 1 為現場廢水處理設備及本研究所採行之水回收策略流程圖，整個處理流程包括：初級處理系統(粗攔柵與初沈池)、二級處理系統(ODOBEZ 系統)、高級生物處理系統(生物活性碳反應器)及水回收單元(薄膜過濾系統)。在生物活性碳反應器(BAC)方面，以 12 噸的不鏽鋼槽作為 BAC 的反應槽主體，選擇平均直徑約 4 x 8 mm 的無煙煤片狀活性碳作微生物載體，並控制填充率為 60%。將特殊篩選及馴養後的微生物植種於片狀活性碳上，水力停留時間為 4 小時，BAC 最大處理容量約為 72CMD。由於經過 ODOBEZ 系統處理後之放流水溶氧值仍高，因此除了在反洗階段之外，否則 BAC 無須額外通氣。另外，BAC 反應槽尚包括一些輔助設備諸如：過濾水頭與單向閥，可防止 ODOBEZ 異常時，大量的污泥進入 BAC 反應槽。在薄膜過濾系統方面，所用的膜材為 polysulfone，其平均可分離的粒子分子量 (molecular weight cut off, MWCO) 為 100-300 道耳吞 (Daltons)，設計成多層螺旋膜管，直徑約 10cm，長度為 1 公尺，總過濾面積為 8.36m<sup>2</sup>。系統以高壓幫浦加以驅動，操作壓力範圍介於 3.5 x 10<sup>3</sup>-2.8 x 10<sup>4</sup>Kg/m<sup>2</sup>，外殼以不鏽鋼管柱加以保護，另在管殼兩端分別裝設壓力表，用以量測經過薄膜時的壓力變化。最大的回收容量約為 50CMD。圖 2 為本研究 BAC/MS 水回收複合系統之簡單示意圖研究過程中，針對 BAC 反應槽不定時測量槽中的溶氧值、酸鹼值及溫度；在預濾系統方面，採用一般飲水機之濾心；過濾膜管前後之球閥

## 20 工業廢水回收至製程再利用之高效率生物/物化複合處理技術

可用以控制整個系統的操作壓力及物理性洩壓，各股進出流水流量以流量計加以量測。圖 3 則為本系統之實體設備照片圖。

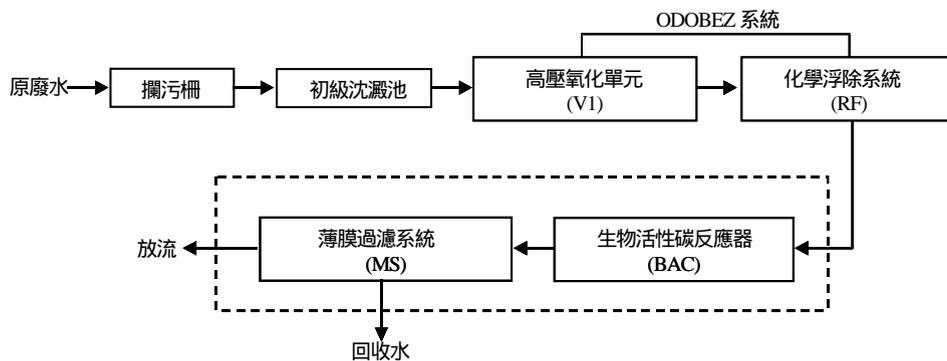


圖 1 現場廢水處理設備及本研究所採行廢水回收策略流程圖

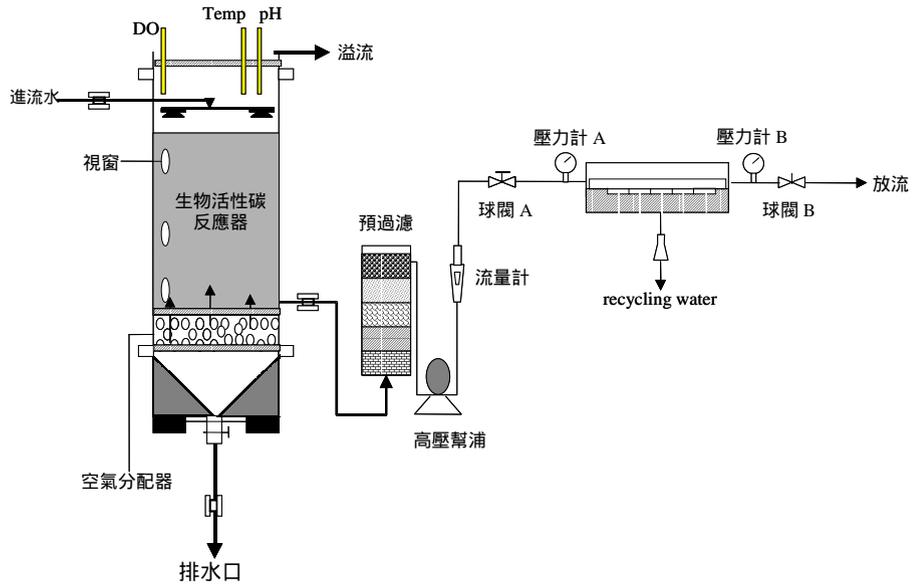


圖 2 BAC/MS 複合系統示意圖



圖 3 BAC/MS 複合系統實體相片

### 三、實驗方法

首先針對現場原有 ODOBEZ 二級廢水處理設備效能進行評估診斷，調整操作條件，使二級廢水處理後放流水水質穩定；第二階段進行高級生物處理系統即 BAC，將現場達標準之二級放流水的水質再進行淨化處理，使其放流水 COD 及色度更低，並將 ODOBEZ 系統中的使用脫色劑降至零；第三階段將經 BAC 高級生物處理系統放流水，導入高級薄膜分離系統進行 50% 廢水回收；第四階段將回收水與現場染色製程去離子進行染色電腦色差比對，進行長達約一年不定時採樣分析。本研究相關的水質分析方法包含 COD、MLSS、全溶解固體量(total dissolved solid, TDS)、溶氧值(DO)、硬度、電導度、pH、色度、金屬離子濃度及水蚤(Daphnia similis)急毒性分析等，依照 "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater " 20th Edition 1998 標準方法進行分析。

### 四、結果與討論

#### 4.1 原廢水廠二級放流水水質評估

現場廢水處理程序經攔污柵、冷卻塔、細篩、入 ODOBEZ 處理系統，其為改良型超深層曝氣高效率活性污泥處理法。ODOBEZ 系統廢水處理由兩個主要處理步驟組成，先是生物高壓氧化槽(V1 槽)，其次為化學混凝浮除反應槽(RF)(見圖 1)，而其中 V1 槽中 MLSS 和其整個系統的出流水 COD 有正相關，MLSS 不宜太高或太低，以 1,000 2,000mg/L 之間為佳，混凝劑加藥量經實驗室 Jar Test 加藥量的測試進行減量，由原 1.0ml/L 加藥量降至 0.75ml/L。現場採用長時間監測 V1 槽中的懸浮固體(MLSS)值及 RF 出流水的 COD 值，經過兩個月操作條件的改變，其廢水處理系統放流水 COD 及色度結果如圖 4 所示，出流水的 COD 維持在 130mg/L 以下，色度亦在 150ADMI 左右。

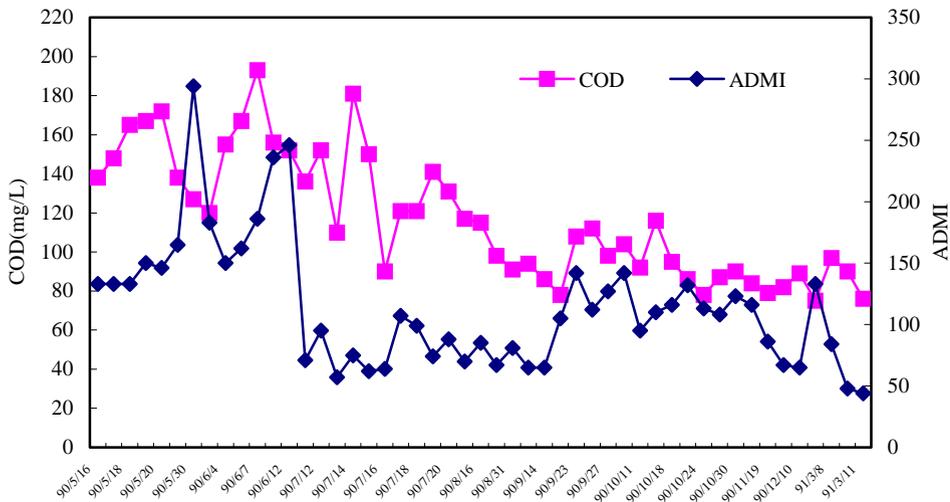


圖 4 現場廢水處理廠二級排放水 COD 及色度

#### 4.2 BAC 水質改善效能分析

BAC 由於同時具備吸附與生物分解的功能，因此對於低有機負荷的廢水具有高效率的去除效能，非常適合作為 MS 系統預處理單元。圖 5 為長時間監測下 BAC 處理後廢水 COD 的變化情形。由圖 5 可明顯看出，BAC 進流水 COD 通常介於 80-160mg/L 之間，而出流水 COD 則小於 80mg/L，甚至低到 20mg/L。由此發現 BAC 對於低有機負荷的廢水的確有優良的處理效能，在水力停留時間 4 小時之內 COD 去除率可達 50% 以上。

## 24 工業廢水回收至製程再利用之高效率生物/物化複合處理技術

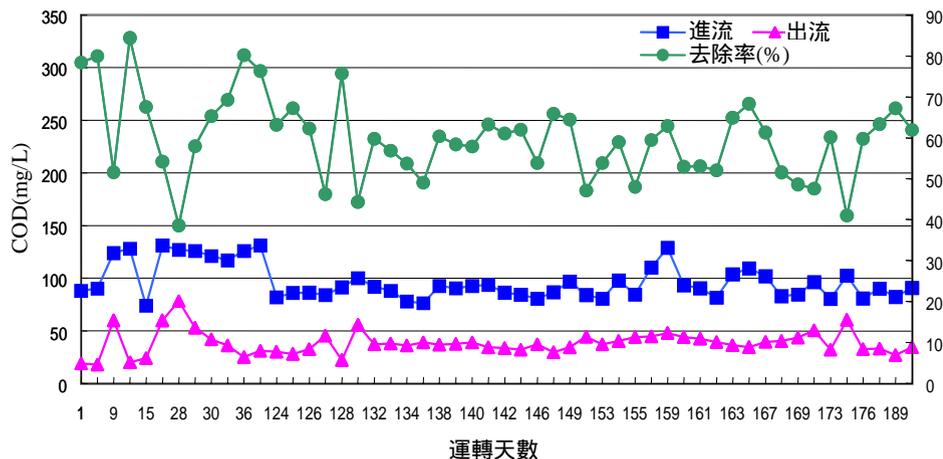


圖 5 長時間監測 BAC 處理前後 COD 濃度與去除率變化

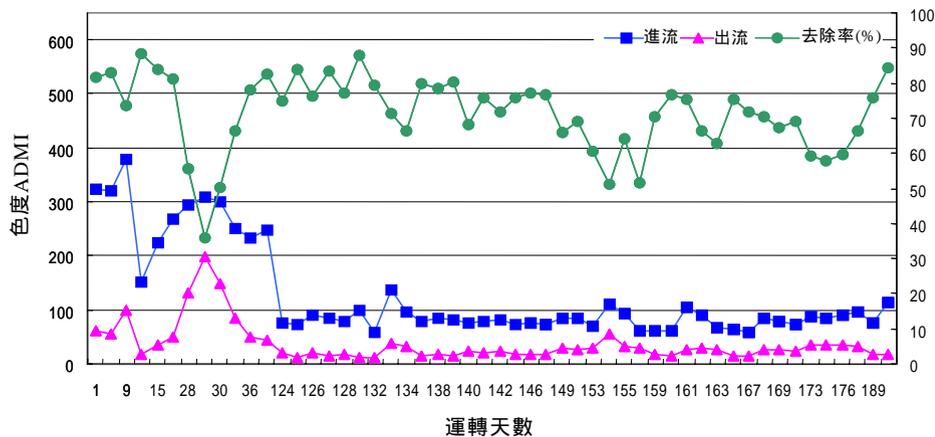


圖 6 長時間監測 BAC 處理前後色度與去除率變化

除了 COD 之外，色度與電導度亦決定水回收是否值得進行，圖 6 為長時間監測下 BAC 處理前後廢水色度的變化情形。由圖可發現 BAC 具有良好的色度去除能力，經過 BAC 處理過後的廢水色度大都小於 100ADMI，由肉眼觀察幾近於透明。另外，可發現即使廢水色度由 100ADMI 突然上升至 300ADMI，BAC 對廢水中色度的去除率仍能維持 60% 以上。而在電導度的去除方面，由圖 7 可發現 BAC 對於電導度並沒有任何的去除功能，BAC 進出流的電導度始終相同，與原始的 RF 二級放流水的電導度相同，均介於 1,700-2,800 $\mu$ S/cm 之間，但在水蚤急毒性測試結果(表 1)經生物活性碳處理後水蚤急毒性毒性減少約 50%。

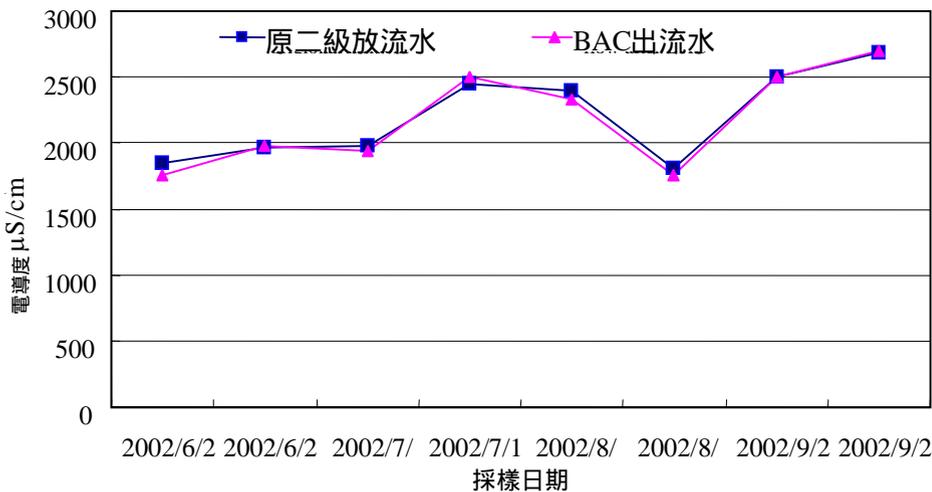


圖 7 長時間監測 BAC 處理前後廢水電導度變化

表 1 水蚤急毒性測試結果

Toxic unit\日期	90.7.25	90.8.31	90.10.21	90.10.22
BAC 處理前	2.4	3.6	2.4	2.4
BAC 處理後	1.2	1.3	1.2	1.2

### 4.3 生物活性碳/薄膜過濾水回收複合系統效能分析

整合 BAC 與 MS 成為一複合回收系統，將 BAC 的出流水進入預過濾系統，去除水中的懸浮固體及微生物，處理過後再作為 MS 的進流水。經過長時間運轉的過程中，各股水包括：原二級放流水(即 BAC 進流水)、BAC 出流水(即 MS 進流水)、不同操作壓力下 MS 出流水以及 MS 濃縮液進行不定時採樣分析。圖 8 表示 BAC 進流水、MS 進流水及不同操作壓力下的回收水長時間監測下 COD 的變化情形。由圖 8 可發現，BAC 具有良好的 COD 去除效能，整體 COD 去除率大於 50%，而經過 MS 處理過後之回收水不論操作壓力為何，COD 均可低到的 20 mg/L 以下，顯示當系統長時間運轉，薄膜結垢發生，欲固定回收率使得操作壓力逐漸上升，並不會影響回收水的水質。圖 9 則為 BAC 進流水、MS 進流水及不同操作壓力下的回收水長時間監測下總溶解固體量的變化情形。由於現場染色製程常使用一些藥劑諸如：液鹼、芒硝等染助劑，連帶使得排放廢水中的 TDS 相當高，而經過 ODOBEZ 系統處理過後的二級放流水 TDS 仍高達 1,000-1,800 mg/L。由圖 9 可看出 BAC 雖然無法將 TDS 作有效的去除，然而藉由 MS，不論系統操作壓力為何，均可將 TDS 去除到 200 mg/L 以下，可確保整體回收水的水質。

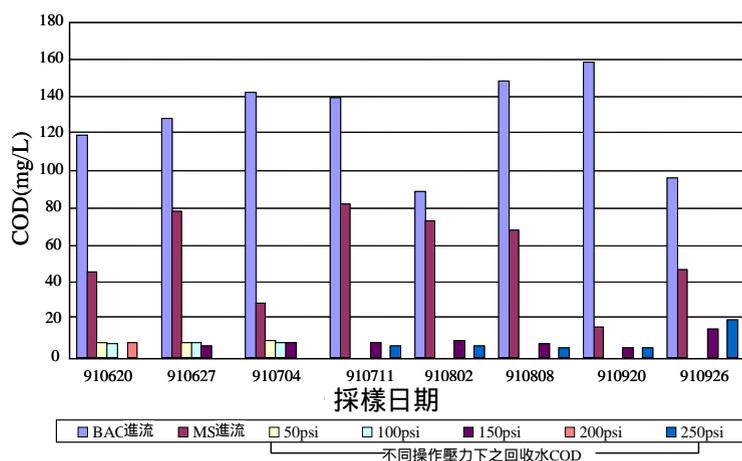


圖 8 不定時採樣下 BAC 進流水、MS 進流水及回收水在不同操作壓力下 COD 的變化

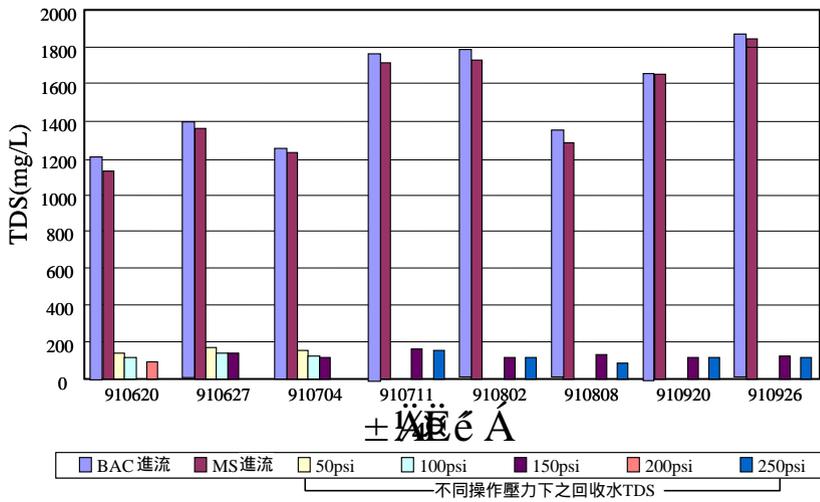


圖 9 不定時採樣下 BAC 進流水、MS 進流水及回收水在不同操作壓力下 TDS 變化

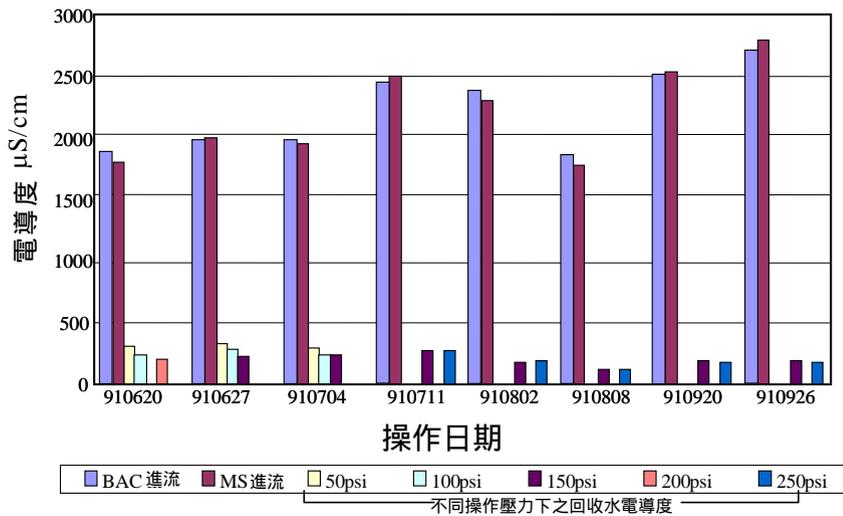


圖 10 不定時採樣下 BAC 進流水、MS 進流水及回收水在不同操作壓力下電導度變化

如上所述，電導度的高低將影響染色品質，染色所用的水倘若電導度太高將可能導致產品色斑及色花現象發生。因而欲將廢水回收到染色製程上使用，則回收水除了 COD、色度、TDS、SS 等基本要求之外，電導度必須夠低。經過各單元處理後 BAC 進流水、MS 進流水及不同操作壓力下(50-250psi ;  $3.5 \times 10^3$ - $1.75 \times 10^4 \text{Kg/m}^2$ )的回收水長時間監測下水中電導度的變化情形如圖 10 所示。由圖可明顯看出，原二級放流水的導電度約介於 1,700-2,800mg/L 之間，且經過 BAC 處理過後仍然沒有改變。然而經過 MS 處理過後的回收水，不論操作壓力為何，其電導度均可降至  $300 \mu\text{S/cm}$  以下，與現場染色製程所使用的地下水的電導度相當接近。

為了更進一步釐清電導度對染色品質的影響，嘗試分析水中某些離子經過各單元處理前後的濃度變化。圖 11 表示經過各單元處理後 MS 進流水及不同操作壓力下的回收水長時間監測下水中水中鈉離子濃度的變化情形。由圖可發現，MS 對於鈉離子的去除率始終高於 60%，顯示本研究所使用的薄膜對於單價離子的去除率甚高。然而以此比較圖 12 相同操作情況下鎂離子的去除率卻始終小於 50%。由於多價離子理應較多價離子更容易去除，這樣結果似乎顯得不合理。仔細探究可發現，原二級放流水中鎂離子的濃度便已相當低，會有這樣的結果可能是因化學分析方法偵測極限的影響所導致。

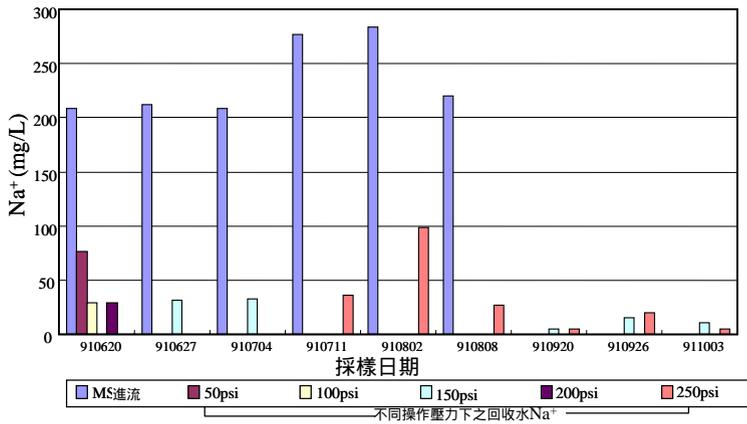


圖 11 不定時採樣下 MS 進流水及回收水在不同操作壓力下 Na<sup>+</sup>變化

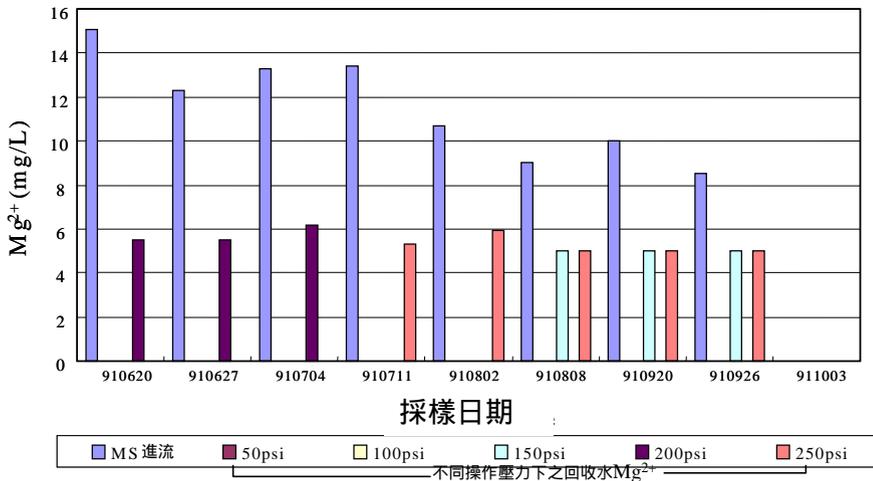


圖 12 不定時採樣下 MS 進流水及回收水在不同操作壓力下 Mg<sup>2+</sup>變化

#### 4.4 回收水染色測試結果

雖然經由化學水質分析結果顯示回收水可以符合製程染色用水的水質需求，然而最終的判斷準則仍在於回收水用於染色後產品的色差值(CMC DE,DE)。本研究不定時地將回收水交予現場染色人員進行敏感色試染，藍色、紅色實驗室

### 30 工業廢水回收至製程再利用之高效率生物/物化複合處理技術

染色與大缸試染，染色的結果如圖 13、圖 14 所示。圖 13 為回收水進行實驗室藍色試染的電腦分析結果之範例，而圖 14 則為相同情況下回收水進行實驗室紅色試染的電腦分析結果之範例，經由不同光源判定，回收水藍色染色色差值始終介於 0.20-0.23 之間，而紅色則介於 0.13-0.14 之間。經過長時間不定時測試將實驗室染色的結果的色差值彙整如表 2 所示。由表可發現無論是針對藍色或紅色試染，色差值始終小於實驗室級試染色差值的上限 0.5，一般染色製程色差值品檢控制在 0.8 以下即可達到品質要求。而線上大缸試染的結果，委由現場品檢系統直接對染色出來的產品進行品管檢測，結果發現以回收水進行線上大缸試染的產品，無論在色差、色花、色斑、鉤紗品質均可達 A 級標準，並在實廠建立中水回用的品質控制點，因而此廢水回收再利用技術用於染整製程確能達到工廠家實際的要求，無論是經由化學分析或染色測試均在在顯示本系統的回收水的確可用於製程染色上。

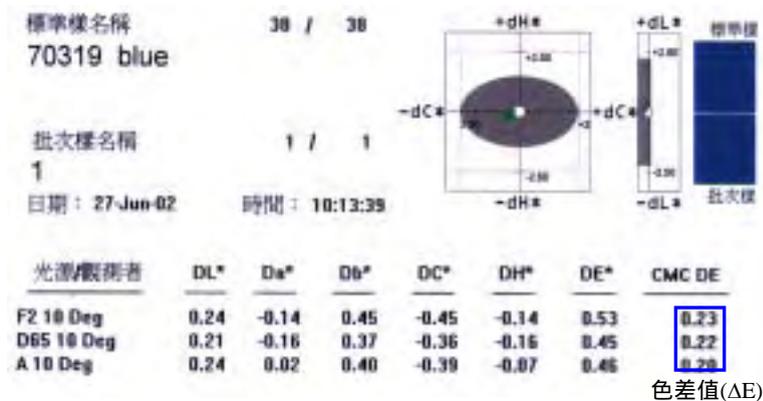


圖 13 70319 藍色染色色差電腦分析

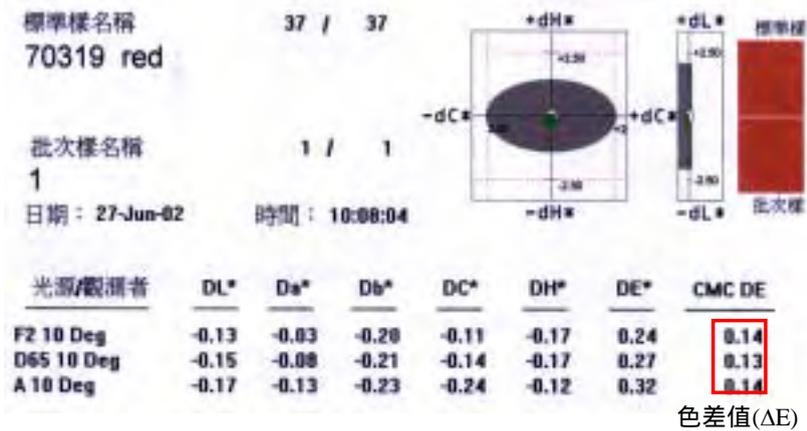


圖 14 70319 紅色染色色差電腦分析

表 2 不同操作壓力下之回收水實驗室試染結果之色差值(DE)

70319 藍色染色製程				70319 紅色染色製程			
50 psi	100psi	150psi	250psi	50psi	100psi	150psi	250psi
-	0.22	-	-	-	0.14	-	-
0.12	0.28	-	-	0.19	0.09	-	-
0.35	0.34	-	-	0.18	0.21	-	-
-	-	0.30	0.37	-	-	0.11	0.12
-	-	0.29	0.57	-	-	0.376	0.08
-	-	0.33	0.56	-	-	0.27	0.16
-	-	0.38	0.26	-	-	0.39	0.32
-	-	0.42	0.27	-	-	0.38	0.35
-	-	0.28	0.18	-	-	0.15	0.09
-	-	-	0.35	-	-	-	0.63
-	-	-	0.14	-	-	-	0.20
-	-	-	0.27	-	-	-	0.35

#### 4.5 濃縮廢液處理

廢水回用於製程染色之上，但處理殘留的濃縮廢液亦成為工廠進行廢水回收另一項問題，有些廢水回收後濃縮液採用焚化處理，或另外處理達放流水標準後排放；在本研究中，根據原二級放流水的水質及經過 BAC 處理過後得出流水

### 32 工業廢水回收至製程再利用之高效率生物/物化複合處理技術

質，可將 MS 進流水的水質設定水回收率為 50%，而濃縮廢液仍可達到現行排放水標準，因而可直接排放無須額外的處理設備。圖 15 為濃縮廢液在 50%回收率的基準下，COD 的變化情形。在 50%回收率的前提下，濃縮廢液的 COD 始終低於現行排放標準 160mg/L，且因其排放水域非灌溉渠道或水源保護區，並無電導度管制，因此即便濃縮液電導度高達 3,000-5,000 $\mu$ S/cm，仍可直接排放無須額外處理。針對其他工廠欲同時達到高廢水回收率，且濃縮廢液仍可達到直接排放的標準，除了廠區排放口所在地必須為非灌溉渠道或水源保護區外，原二級放流水水質必須嚴密控管(包括：COD、SS 須越低越好)，必要時則需以焚化法或其他適當方法加以處理。

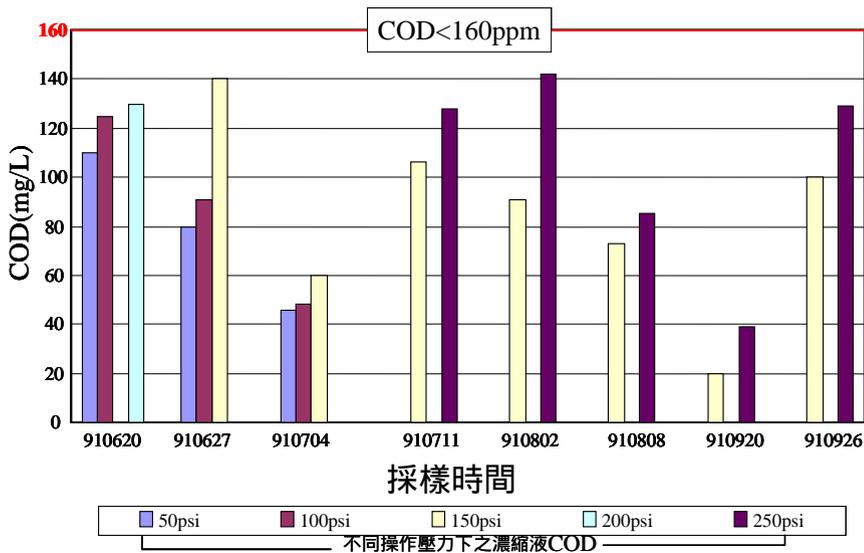


圖 15 MS 系統濃縮廢液在 50%回收率的基準下 COD 的長期變化

#### 4.6 薄膜清洗效能

在固定水回收率的前提下，薄膜過濾系統的操作壓力隨著持續運轉而漸次升高。當高壓幫浦無法再提供更高的壓力時，系統便須停止下來加以清洗。本研究同時採用物理脫附與化學清洗的方法來進行薄膜清洗，以延長薄膜系統操作時間。圖 16 表示當濾液通量固定在 14L/min 時，間歇性物理洩壓對系統操作壓力與運轉時間關係的影響。由圖可清楚發現系統操作壓力隨著運轉時間持續上揚，然而當進行物理洩壓後將系統再次啟動，可使操作壓力下降許多。主要原因在於洩壓的過程中，原本吸附在薄膜表面的雜質會因為濃度梯度的存在而自行脫附，導致過濾阻力降低，因而降低操作壓力。雖然系統操作壓力可因物理洩壓而降低，但每一運轉批次的最低壓力仍然隨著運轉時間延長而持續上升，顯示單憑物理洩壓無法完全恢復薄膜的處理容量。

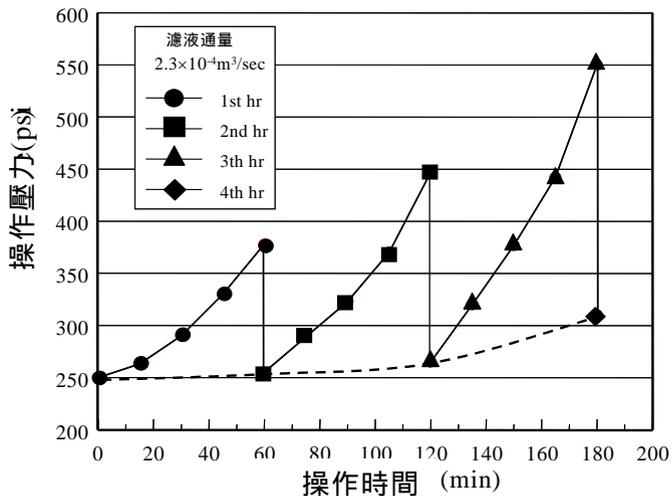


圖 16 濾液通量 14 L/min 操作壓力變化

### 34 工業廢水回收至製程再利用之高效率生物/物化複合處理技術

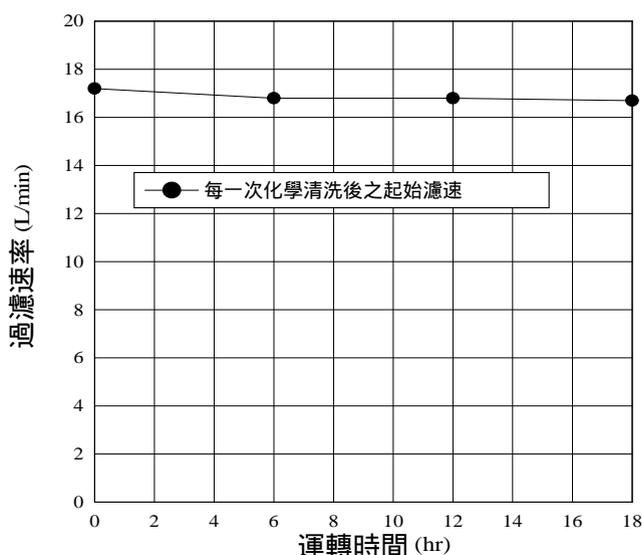


圖 17  $1.75 \times 10^4 \text{Kg/m}^2$  (250psi) 操作下每一階段化學清洗後薄膜初始濾液通量的變化

經過長時間的運轉後，結垢物於膜面上形成一緻密層，其濾液通量會受很大的影響。量測 MS 系統操作壓力與回流水流量，維持固定濾液通量同時兼顧操作壓力不可太高，物理洩壓次數越來越多，但仍不足以使系統操作壓力有效地下降。此時，改用化學藥劑對薄膜進行清洗。本研究以鹽酸及氫氧化鈉水溶液當作薄膜清洗的藥劑，使用時先與清水混合使 pH 值分別為 2 及 11，依序清洗 10 分鐘，建立薄膜物理性及化學性反洗時距機制測試，以便提升薄膜處理效能及運轉費用降低。圖 17 表示固定操作壓力為  $1.75 \times 10^4 \text{Kg/m}^2$  下，各階段化學清洗完成後薄膜濾液通量的變化，由圖我們可清楚發現經過每一階段化學反洗後的起始濾液通量幾乎不變，經過 18 小時運轉之後仍幾乎恆定顯示化學清洗對薄膜的清洗效果遠較簡單物理洩壓為佳。

#### 4.7 經濟評估

除了一些耗材，諸如：片狀活性碳、薄膜及一些相關的輔助設備與初設成本，操作時電費的耗用佔回收成本的最大部份。圖 18 為固定濾液通量 14 L/min MS 運轉時之電流消耗關係圖。電流值與系統操作壓力有相同的變化趨勢。操作時間越長，壓力與電流(亦即耗電量)越高，薄膜過濾的主要能量消耗在於循環進流水泵所消耗的能量(E)，其值可由測得的電流(I)、電壓(V)及操作時間(t)等參數

來估算：

$$E(\text{消耗電量}) = IV/1000xt$$

一旦薄膜進行反洗，則操作壓力及電流亦隨之下降。表 3 列出經過長達一年的操作後，本廢水回收系統的經濟評估，回收每噸廢水的成本約 9.14 元，其中不包括人事費及設備初設費在內。

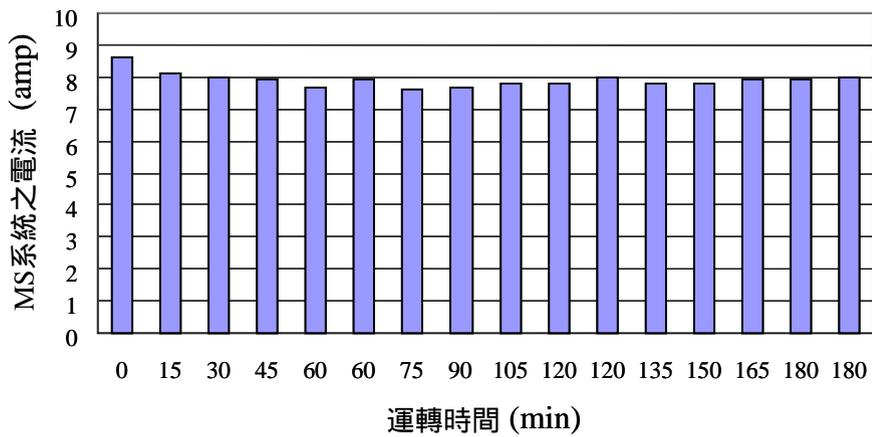


圖 18 固定濾液通量下 MS 運轉時電流關係圖

表 3 BAC/MS 複合廢水回收系統的經濟評估

回收水量(50%回收率)	模廠設備 (50m <sup>3</sup> /day)
耗電費用(元/ m <sup>3</sup> )	5.0
材料更換費(元/ m <sup>3</sup> )	1.37
維修折舊費(元/ m <sup>3</sup> )	0.77
BAC 總操作費用(元/ m <sup>3</sup> )	2.0

total (元/ m <sup>3</sup> )	9.14

## 五、結論

以複合式生物活性碳及薄膜過濾系統來處理染整廢水，放流水不僅可以達到 87 年排放水標準，且可將硬度、電導度及色度去除大半，可用作製程染色之用。現場使用此套系統不僅可進行廢水回收，且可大幅降低廢水處理程序脫色劑的添加，以日處理量 2,800CMD 的廢水來計算，每年可節省脫色藥劑 670 萬元，未來實廠化初設成本約 1,600 萬，每年可回收 300,000 噸以上水資源，未來面對水污染防治費的徵收，因中水中含低濃度 COD 時不會影響染色製程回用，且生物活性碳高級生物處理程序，會分解一二級廢水處理無法分解放流水中 COD、SS 及降低放流水毒性，除了進一步降低廠商水污染防治費費用負擔，亦達到水資源環境保護目標。除此之外，在商業化的薄膜模組中單位體積可獲得的薄膜面積極大，可將處理成本大幅降低，則能夠在符合經濟效益的前提下，將二級放流水回收到製程染色上使用。經過本複合系統處理過後的水，可完全符合製程回收再利用的要求，與現行自來水水價 11-13 元/噸相比較，具備實廠運用之潛力。

## 六、誌謝

本論文為經濟部技術處科技研發專案委託研究成果。

## 七、參考文獻

1. Wenzel, H., H. H. Knudsen, G. H. Kristensen and J. Hansen," Reclamation and Reuse of Process Water from Reactive dyeing of Cotton," DESALINATION, 106,

pp. 195-203(1996).

2. Ghayeni, S. B. S., P. J. Beatso, R. P. Schneider and A. G. Fane, "Water Reclamation from Municipal Wastewater Using Combined Microfiltration-Reverse Osmosis(ME-RO): Preliminary Performance Data and Microbiological Aspects of System Operation," *DESALINATION*, 116, pp.65-80 (1998).
3. Kim, S. L., J. Paul Chen and Y. P. Ting, "Study on Feed Pretreatment for Membrane Filtration of Secondary Effluent," *Separation and Purification Technology*, 29, pp.171-179 (2002).
4. Lopez-Ramirez, J. A., S. Sahuquillo, D. Sales and J. M. Quiroga, "Pre-Treatment Optimisation Studies for Secondary Effluent Reclamation with Reverse Osmosis," *WATER RESEARCH*, 37, pp. 1177-1184 (2003).
5. Seo, G. T., S. Ohgaki and Y. Suzuki, "Sorption Characteristics of Biological Powder Activated Carbon in BPAC-MF (Biological Powdered Activated Carbon-Microfiltration) System for Refractory Organic Removal," *Water Science Technique*, 35, No. 7, pp.163-170 (1997).
6. Seo, G. T., Y. Suzuki and S. Ohgaki, "Biological Powdered Activated Carbon (BPAC) Microfiltration for Wastewater Reclamation and Reuse," *DESALINATION*, 106, pp.39-45 (1996).
7. 林燕輝, 徐雅芬, 阮慕玲, 林畢修平 "生物活性碳程序處理染整廢水與回收再利用" 2001 產業環保工程實務技術研討會論文集, 台北, pp. 45-53(2001)