

# 膜離生物反應器 技術處理染整廢水 之應用研究

◎執筆 / 洪仁陽 · 邵信 · 張王冠 · 張敏超

## 摘要

本研究以 Web-type 膜離生物反應器 (MBR) 處理染整廢水，採用膜管材質為不織布。評估結果顯示，在 COD 去除方面，可使平均 COD 濃度從 521mg/L 降至 120mg/L，符合染整業新增訂放流水排放標準，即表示 MBR 處理系統，可以取代目前廠方使用生物固定膜及化學混凝組合處理程序，估計該廠污泥可以從 30 公噸/天降至 3 公噸/天以下，可大幅節省廢水處理場操作費用。MBR 處理過程中，除進行必要 pH 值調整及添加微量營養鹽外，不額外添加化學藥品，故廢水與處理水電導度並無明顯增加情形，均維持在 500~600  $\mu$  s/cm 之間變化，使水回收再利用可行性大幅提高。因此，以 MBR 處理染整廢水具有簡化處理程序、減少污泥產生量及增加水回收再利用機會及潛力，值得產業界參考。

## 關鍵字

膜離生物反應器 (MBR)、染整廢水、污泥減量、水回收再利用

8  
August  
廢水專刊

## 前言

膜離生物反應器(Membrane Bio-reactor, MBR)技術雖然受到各方重視,然而早在30年前Dorr Oliver及RHONE兩家公司即提出二級沉澱池用薄膜模組取代之兩項專利,此技術受限薄膜材質及種類限制,僅應用辦公大樓或小型(分散式)廢水處理系統為主,無法廣泛應用於一般廢水處理系統,直到1989年日本東京大學Yamamoto教授提出新一代MBR系統<sup>[1]</sup>,可大幅增加膜管比表面積,以降低膜管初設成本,造成革命性影響,亦擴大薄膜應用領域。

傳統生物處理系統特別是活性污泥系統中F/M為主要控制參數,由於MBR選擇微生物不再依據其沉降性<sup>[2]</sup>,故微小顆粒或膠羽可以留在反應槽中增加其處理效果及提高MLSS濃度與縮短HRT(反應槽槽體較小)之優點。

MBR依其薄膜放置位置可區分為兩類,即傳統式MBR及浸沒式(immersed)MBR,其構造如圖1中所示。傳統式MBR是將活性污泥在高速(通常大於2m/s,有時大於4m/s)流速下,用幫浦將污泥抽至管狀(tubular)或平版(flat sheet)

模組中,會產生較大壓降及較高過膜(transmembrane)壓力,為一種典型cross flow模組。浸沒式MBR,是將中空纖維或中空版浸沒於曝氣槽中,使處理水以真空抽取方式穿過薄膜。一般而言,傳統式MBR操作良窳依cross flow速度而定,為了得到較大通量(flux)會造成較大能源消耗且對污泥會有不利影響。而在浸沒式MBR中,薄膜表面積較大,較小flux即可達到所需流量,能源消耗較低且積垢(fouling)問題較不嚴重。

表1中所示為澳洲學者<sup>[3]</sup>對傳統式MBR及浸沒式MBR之特性比較,從通量、積垢控制、能源消耗、改裝(retrofit)及操作彈性等方面進行比較,似乎傳統式MBR較浸沒式MBR為優,但薄膜技術不斷發展之結果,例如中空纖維膜,在使用浸沒式MBR配合中空纖維膜時,由於大幅增加薄膜表面積,可以克服低通量問題,亦可以改善積垢產生,甚至更省能源,而降低操作成本。

表2中所示為傳統活性污泥(AS)及MRB系統之比較,反應槽中污泥濃度為兩者之間最大差異,傳統活性污泥系統

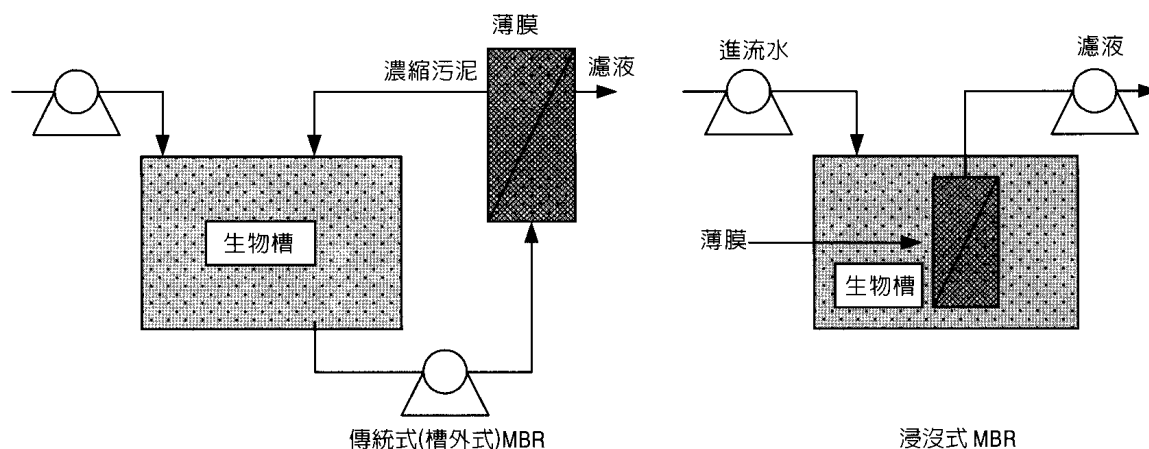


圖1 兩種形式 MBR 示意圖<sup>[3]</sup>

表 1 傳統式 MBR 及浸沒式 MBR 之特性比較

| 特性              | 浸沒式 MBR   | 傳統式 MBR        |
|-----------------|-----------|----------------|
| Flux            | low       | moderate       |
| Fouling Control | difficult | Less difficult |
| Energy use      | moderate  | High to low    |
| retrofit        | Less easy | easy           |
| flexibility     | Limited   | good           |

表 2 傳統活性污泥及 MRB 系統之比較

| 處理種類                         | AS        | MBR        |
|------------------------------|-----------|------------|
| HRT (h)                      | 3~24      | 1~4        |
| SRT (d)                      | 3~10      | 10~30      |
| MLSS (mg/L)                  | 3000~5000 | 5000~30000 |
| Energy (Kwh/m <sup>3</sup> ) | -         | 0.3~2      |
| Sludge Yield (kgSS/kgCOD)    | 0.3~0.5   | 0.2        |

中污泥濃度 3,000~5,000mg/L，MBR 系統中可達 5,000~30,000mg/L 或更高濃度，由於污泥濃度高，故 HRT 可以縮短至 1~4 小時，以節省反應槽體積。另外，在 MBR 系統中，SRT 可以長至 30 天或更長，故污泥產率可以降至 0.2kgSS/kgCOD 以下，在一些情況下，污泥產率更低，而有效減少廢水處理場污泥產量。此外，MBR 系統係藉由薄膜或濾材以進行固液分離，故出流水水質較傳統生物處理系統，甚至於可以取代傳統處理系統的沈澱池、砂濾及消毒單元，而獲得良好出流水水質，可直接進行水回收再利用或作為水質要求嚴格的水回收再利用前處理，以減少水回收再利用處理單元及操作成本，亦是採用 MBR 技術處理廢水的另一項優勢。

染整廢水通常同時含有 COD、SS 及

色度等問題，為能夠有效去除這些污染，傳統廢水處理流程含有生物處理及化學處理單元組合，以達到上述處理效果。但是傳統廢水處理方式，不是增加污泥產生量(採前混凝後生物處理程序)就是需要加大生物反應槽體積(採前生物後混凝處理程序)，而且會大幅增加處理水電導度，不利染整廢水回收再利用。Fan et al.,<sup>[4]</sup>以厭氣及喜氣 MBR(A/O MBR)處理羊毛染整廢水，其 BOD<sub>5</sub>/COD 比值低於 0.13，經過 A/O MBR 處理後 COD、BOD<sub>5</sub>、色度及濁度去除率分別達到 82、96、71 及 99%，評估結果顯示 A/O MBR 處理羊毛染整廢水具有技術可行性。另外，由於染整業用水量大，廢水經過處理後處理

水，再經過高級處理技術，以達到水回用之目的，一直是各界關切焦點，應用技術包括臭氧、活性碳及薄膜分離技術等<sup>[5]</sup>，可以獲得不錯處理效果。若採用薄膜分離技術，則會有濃縮廢液需要再處理問題，以避免二次污染問題發生。Lopez et al.,<sup>[6]</sup>採用臭氧方式處理薄膜系統濃縮廢液，可以有效提高其生物分解性。Rozzi et al.,<sup>[7]</sup>提出 MBR 及 RO 系統組合以處理染整業二級生物處理出流水，可簡化處理系統，並獲得良好回收水水質。

## 研究目的

本研究之目的，係藉由實驗室級 MBR 評估實驗以探討此技術對案例廠污泥減量及水回收再利用可行性評估，以期能夠達到減少廢水處理場污泥產生量

及取代放流水回收再利用前處理可行性之目的。

## 實驗方法

本實驗規劃以先期可行性評估為主，故以實驗室規模 MBR 進行實驗。圖 2 為實驗室級 MBR 之反應槽圖示，反應槽直徑為 8cm，高度為 40cm，有效體積為 1.25L，槽中安裝一組浸沒式 Web-type 膜管，如圖 3 中所示，Web-type 膜管為 PP 材質之不織布，由國內不織布廠商所提供，其平均孔隙直徑為  $39\ \mu\text{m}$ ，經親

水性加工後，膜管直徑為 3.6cm，其長度為 25.4cm，膜管表面積為  $287\text{cm}^2$ 。MBR 反應槽污泥來自工研院光復院區 SBR 廢棄污泥，植入後維持槽中污泥濃度約  $3,000\text{mg/L}$ ，廢水來自北部某長纖布染整廠，其水質特性如表 3 中所示。除添加必要微量營養鹽及調整 pH 值外，不再添加任何物質，以避免增加處理水體之電導度。為避免生物積垢對通量造成影響，實驗期間進行膜管空氣反沖洗，其頻率為 6 次/天，每次 15 分鐘。

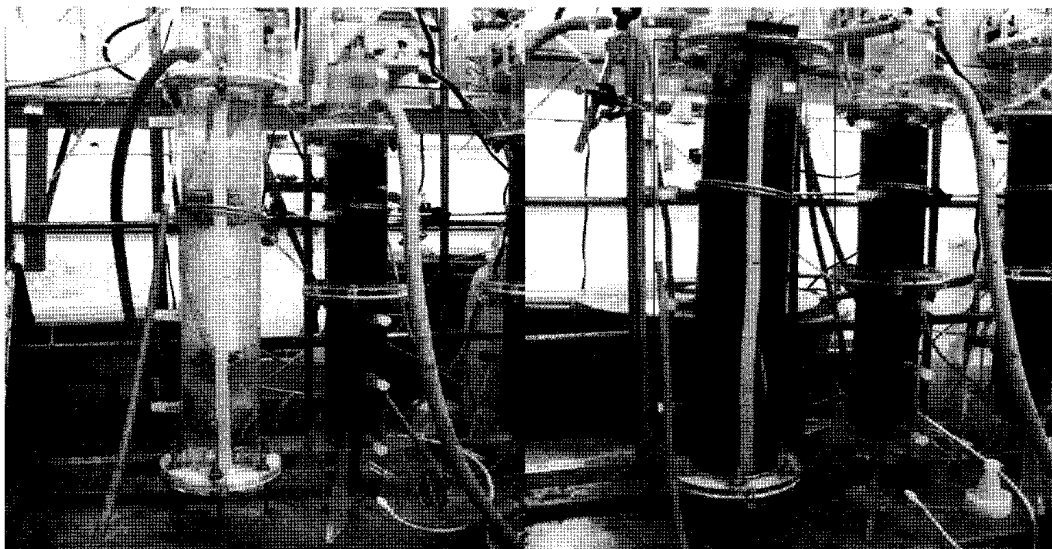


圖 2 實驗室級 MBR 反應槽（左圖植種前，右圖植種後）

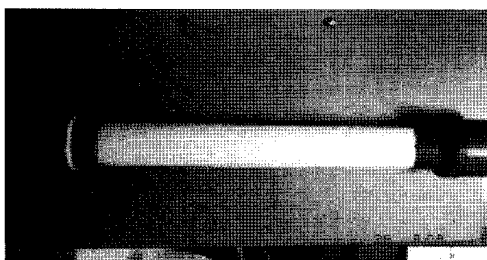


圖 3 Web-type 膜管外觀

表 3 染整廠水質特性

| 水質項目 | 單位               | 濃度範圍     |
|------|------------------|----------|
| COD  | mg/L             | 550-1100 |
| SS   | mg/L             | 30-80    |
| pH   |                  | 9-11     |
| 水溫   | °C               | 35-38    |
| 真色色度 | ADMI             | 500-700  |
| 電導度  | $\mu\text{S/cm}$ | 500-600  |

## 結果與討論

### (一)pH 值變化

由於案例廠原廢水含有減量加工廢水，故 pH 值較高，經加酸調整 pH 值後，作為 MBR 進流水。圖 4 為 MBR 操作期間之 pH 變化圖，進流水的 pH 值介於 7.7 至 9.6 之間變化，平均為 8.4，槽中 pH 值介於 8.1 至 8.9 之間，平均為 8.6，而出流水 pH 介於 7.3 至 9.1 之間變化，平均為 8.5。除原廢水進行 pH 調整外，在 MBR 反應槽中未進行任何 pH 值調整，故槽中或放流水中由於曝氣將  $\text{CO}_2$  趕走後，致使 pH 值有上升的現象產生。另外，MBR 實驗評估期間，亦對電導度進行不定期量測，進流水中電導度介於 500~600  $\mu\text{s}/\text{cm}$  之間，經過 MBR 處理後出流水電導度仍介於 500~600  $\mu\text{s}/\text{cm}$  之間，並沒有明顯增加現象發生。此情況與現場日前採用生物處理後再以化學混

凝方式處理後，再行排放的放流水中電導度介於 1,200~1,400  $\mu\text{s}/\text{cm}$  之間變化，可減少一倍左右之電導度，故廢水經過 MBR 處理對電導度不會有明顯改變，將有利於後續水回收再利用及降低操作成本。

### (二)COD 濃度變化

本實驗評估主要目的係探討以 MBR 取代既有生物處理系統及化學混凝系統之可行性，故 MBR 對廢水中 COD 去除效果為非常重要之指標。圖 5 中所示為 MBR 操作期間 COD 變化，進流水的 COD 濃度範圍為 249~1,059mg/L，平均 COD 濃度為 521mg/L，槽中上層液 COD 濃度範圍為 187~690mg/L，平均 COD 濃度為 388mg/L，而最終出流水 COD 濃度範圍為 61~237mg/L，平均 COD 濃度為 120mg/L。如上所述，進流水、槽中及出流水

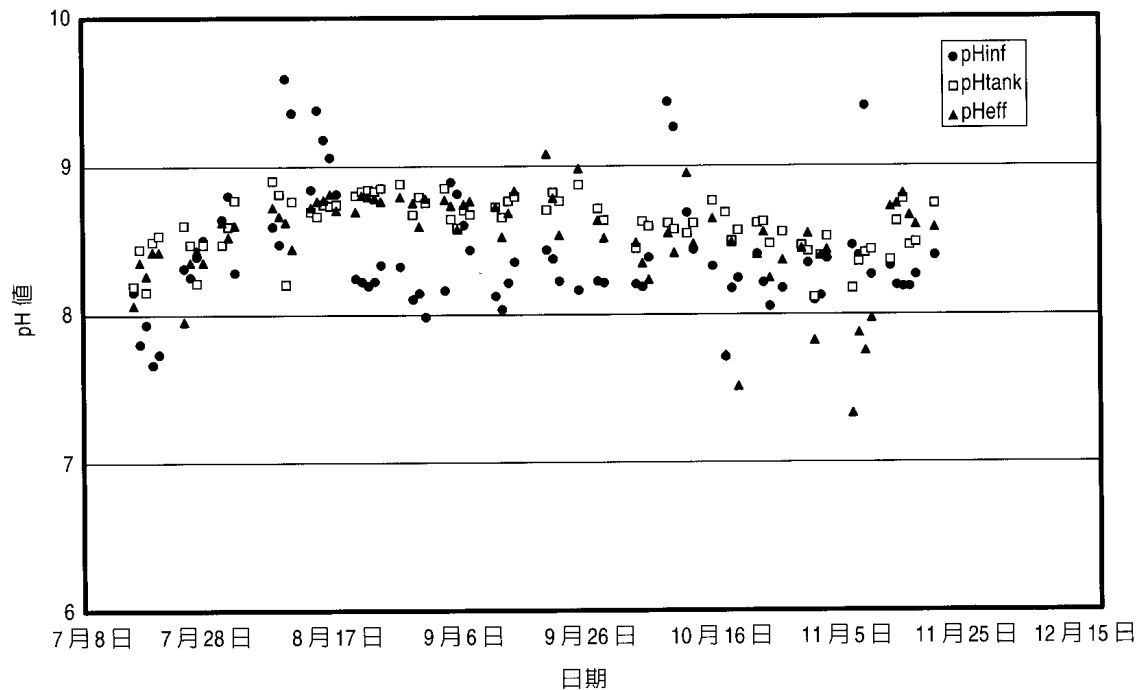


圖 4 MBR 操作期間 pH 變化圖

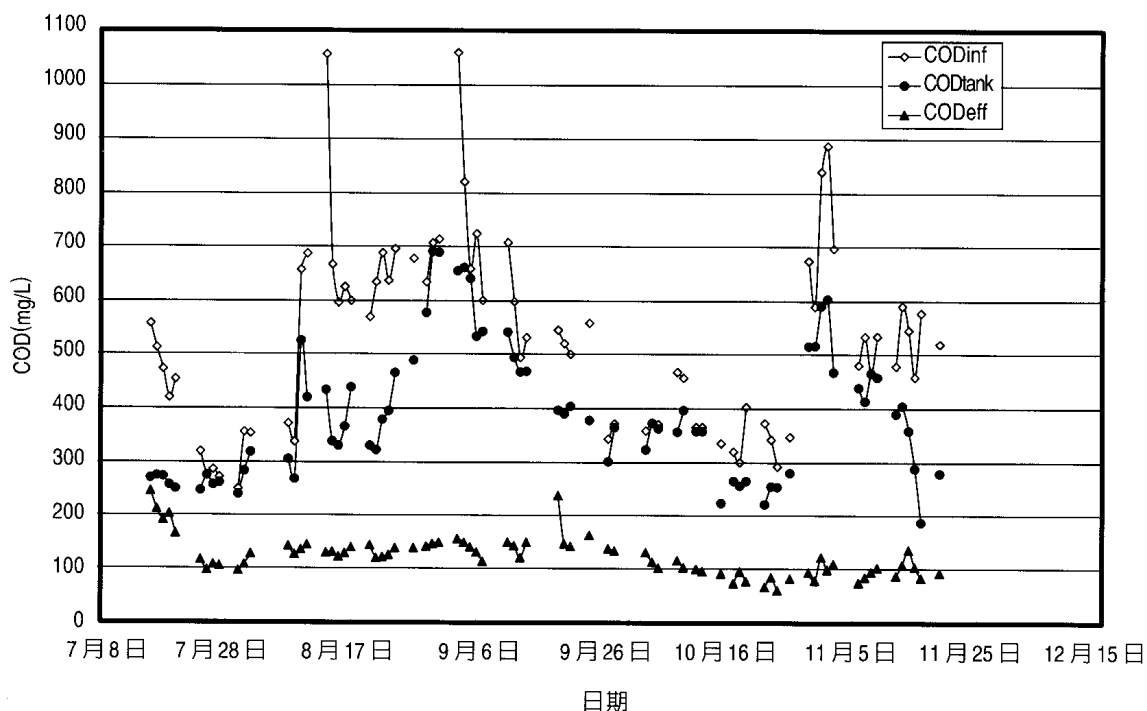


圖 5 MBR 操作期間 COD 濃度變化圖

平均 COD 濃度變化分別為 521、388 及 120mg/L，若為一般生物活性污泥系統，其 COD 去除率僅為 25.6%，採用 MBR 系統則其 COD 去除率可以增加至 76.9%，足足增加 51.3% 之 COD 除率，並使出流水 COD 濃度低於 120mg/L 以下，符合現行放流水排放標準。事實上，現場採用固定生物膜處理結果與 MBR 槽中效果類似，故生物處理單元出流水平均 COD 濃度約在 400mg/L 左右，無法再繼續降低。為符合現行放流水排放標準，現場需再採用化學混凝方式處理，使放流水能夠符合現行放流水排放標準，但伴隨著產生大量污泥及增加水體電導度。而 MBR 實驗中，藉由薄膜的分離機制可以將 COD 濃度再次降低，使放流水 COD 濃度更低。故具有取代化學混凝單元功能，但不會有大量污泥量產生，為採用本技術強調重點之一。

### (三) 污泥濃度 (MLSS) 濃度變化

圖 6 中所示為 MBR 操作期間 MLSS/MLVSS 濃度變化圖，初期植入污泥濃度為 3,000mg/L 左右，但由於反應槽持續曝氣及廢水中含有界面活性劑關係，造成污泥流失，故第一次植種後一週左右又再一次植種，污泥濃度可達 8000mg/L 左右，而又發生污泥再次流失，其濃度慢慢降低至 3,000 左右，在維持一段時間後，再繼續降低至 1,000mg/L 以下，甚至於只有 500mg/L 左右污泥濃度，9 月初再次植入污泥後，亦同時改善污泥流失問題，污泥濃度從 3,000mg/L 開始增加至 5,500mg/L。對照圖 5 及圖 6 中發現，污泥濃度與 COD 去除率有明顯關係，在實驗初期污泥濃度低且系統穩定性較差時，出流水 COD 濃度較高，但 9 月上旬污泥濃度持續維持在 3,000mg/L 以上後，出流水 COD 濃度均降至 100mg/

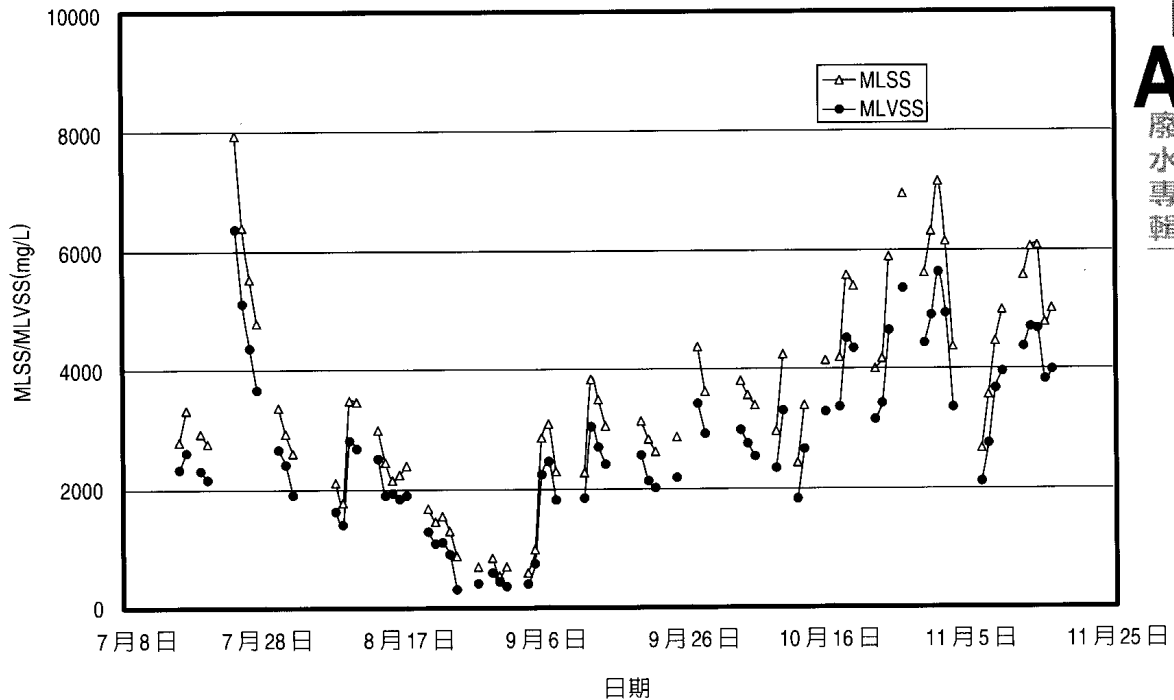


圖 6 MBR 操作期間 MLSS/MLVSS 濃度變化圖

L 左右，處理效果相當不錯。

#### (四)過膜壓力與通量變化關係

圖 7 中所示為 MBR 操作期間過膜壓力與通量關係變化圖。由其他實驗結果獲得採用定時間空氣反沖洗方式，可以獲得較穩通量及避免過膜壓力增加，故實驗期間以每 6 小時一次及每次 15 分鐘方式進行空氣 (5L/min) 反沖洗操作。從圖中得知，實驗初期通量設定在  $0.1\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$  條件下操作，但隨著操作時間增加，通量逐漸下降至  $0.03\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ ，此期間過膜壓力 (Trans membrane pressure, TMP) 從 2cm-Hg 增加至 60cm-Hg 後，並維持一段長時間穩定過膜壓力下操作。從圖中發現，通量與過膜壓力之間呈反比關係，且過膜壓力不斷增加至 60cm-Hg 後才穩定下來，此結果與其他進行反沖洗實驗結果相差較大，推測

原因可能是染整廢水尤其是聚酯纖維染色採用分散性染料有關，這些染料由於顆粒粒徑相當微細，經過一段時間操作後，慢慢進入不織布膜管中，形成不可逆積垢，而使通量慢慢降低且過膜壓力逐漸上升現象因素之一，可見廢水水質特性在 MBR 系統操作中亦扮演非常重要因素。

#### 結語與建議

近年來，由於廢棄物清理法重新修訂後，污泥處理與處置費用節節高升，造成產業界極大負擔。另外，水資源缺乏一直是產業界揮之不去夢魘，廢水經過適當處理後回收再利用，亦是產業界解決缺水方法之一。本研究以染整廢水為例，進行染整膜離生物反應器處理評估，實驗結果顯示可以同時達到減少污泥量及水回收再利用目標。但由於膜離

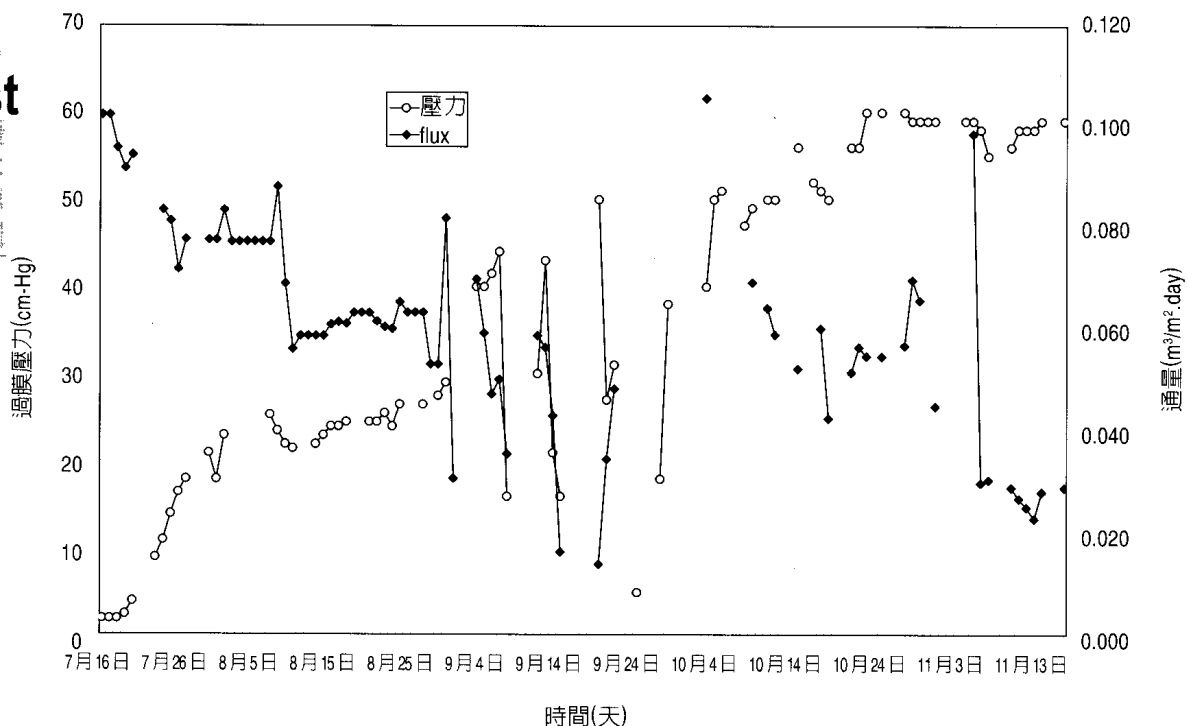


圖 7 MBR 操作期間過膜壓力與通量關係變化圖

生物反應器應用於都市污水處理為主，在工業廢水方面應用並不普及，建議產業界或環工界應用此技術時進行評估實驗，以確保其適用性及處理性能。■

### 參考資料

1. Yamamoto K., Iiasa M., Mahmood T. & T. Matsuo, Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrane in an activated sludge aeration tank, Wat. Sci. Tech., Vol. 21, NO. 4-5, pp. 43-54, 1989.
2. Aim, B. R., Membrane bioreactor with submerged hollow fibers from lab scale to wastewater treatment plant, proceedings of international specialized conference on membrane technology in environmental management, Tokyo, 1999.
3. Cho, D., Fane, A.G., Ghayeni, S. B., Kim, K.J., and K. Parameshwaran, Biological waste water treatment and membranes, Proceedings of international specialized conference on membrane technology in environmental management, Tokyo, 1999.
4. Fan, Y.B., Wang, J.S., Jiang, Z. C., Chen, M.X. Xu, K., and Z.P., Jia, Treatment of a dyeing wastewater from a woolen mill using an A/O membrane bioreactor, Journal of Environmental Sciences (China), Vol. 12, No. 3, pp. 344-348, 2000.
5. Rozzi, A., Biabchi, R., Liessens

- J., and W. Verstrate, Ozone, granular activated carbon and membrane treatment of secondary textile effluents for direct reuse, proceedings of treatment of wastewaters from textile processing, TU Berlin, Schriftenreihe Abwasserreinigung des Sfb 193, Berlin, pp.25-47, 1997.
6. Lopez, A., Ricco, G., Ciannarella, R., A. Rozzi, Di Pinto, A.C., and R. Passino, Textile wastewater reuse: ozonation of membrane concentrated secondary effluent, Wat. Sci. Tech., Vol.40, No.4-5, pp.99-105, 1999.
7. Rozzi, A., Malpei, F., Bianchio, R., and D. Mattioli, Pilot scale membrane bioreactor and RO studies for direct reuse of secondary textile effluents, Proceedings of international specialized conference on membrane technology in environmental management, Tokyo, pp.226-233, 1999.

#### 作者簡介

##### 洪仁陽—

現職：工業技術研究院環境與安全衛生技術發展中心研究員  
學歷：美國以色列工藝學院環工系碩士  
經歷：空大講師、工研院化工所研究員  
專長：水及廢水處理技術研究開發與工程應用

##### 邵信—

現職：工業技術研究院環境與安全衛生技術發展中心研究員  
學歷：交通大學土木所碩士  
經歷：1977年入工研院服務迄今  
專長：廢水處理技術研發與工程應用

##### 張王冠—

現職：工業技術研究院環境與安全衛生技術發展中心研究員  
學歷：美國密西根州立大學環工博士、國立清華大學化工碩士  
經歷：工研院化工所副研究員、博士後研究、工研院化工所研究員  
專長：水及廢水處理技術研究開發與工程應用

##### 張敏超—

現職：工業技術研究院環境與安全衛生技術發展中心研究員  
學歷：國立清華大學化學碩士  
經歷：1974年入工研院服務迄今  
專長：水及廢水處理技術研究開發與工程應用