

# 奇美電子 MBR 系統應用於水回收再利用

蔡財源\*、楊昌義\*、沈威伸\*\*、張政輝\*\*、許書復\*\*\*

## 摘要

水為 TFT-LCD 光電產業不可或缺之重要元素，由於面板產量需求增大，其需求水量也跟著大幅提升，預計台灣面板業未來每日廢水量可能達到 100,000 CMD，故如此龐大的廢水量，提升回收水水質達到水資源再生利用是刻不容緩的事。

TFT-LCD 廠產生的有機廢水含有高濃度的 TOC 與有機氮或氨氮成分，造成回收水處理上相當程度的困難。部份廢水已採用硝化/脫硝生物處理程序，利用硝化菌及脫硝菌之特性，去除 COD 與含氮的污染物經由微生物作用而加以去除。然而，在利用傳統硝化/脫硝生物處理時，為了提升出流水的品質及維持反應槽中微生物量，需加設沉澱池以進行污泥沉降及迴流，而增加處理廠所需面積。另一方面，由於水質回用對於 TOC 相當敏感，故本研究利用 MBR 程序，能有效地截留生長緩慢之微生物，提升反應槽中微生物量，克服高 TOC 降解與後續 RO 堵塞之問題，可提升廢水回收再利用之可行性。因此本研究利用 MBR 程序來評估處理 TFT-LCD 有機廢水處理是否有所助益。

【關鍵字】MBR(生物薄膜反應槽)系統、水回收再利用、EPS、TFT-LCD

---

\*奇美電子股份有限公司廠務六部

\*\*奇美電子股份有限公司廠務四處

\*\*\*奇美電子股份有限公司廠務總處

## 一、前言

台灣近年來蓬勃發展高科技產業，薄膜電晶體液晶顯示器(TFT-LCD)的製造為主要開發之一，目前國內總產值居世界第 2，僅次於南韓，預計在未來將超越南韓，成為全球液晶螢幕的最大供應國，產值可達 1.3 兆元。隨著生產量的增加，相對地，有機廢水量也會隨之增加。預估若未將其回收，所產生的有機廢水量將相當可觀。

光電廠廢水處理程序大多只針對 COD 處理，而未針對氮系污染物做完整去除之考量，據訊了解放流水中仍會殘留部分氨氮，若無法有效地去除水中氮成份，將面臨放流水質不合法規之窘境。此外，放流水中含有氮系污染物造成放流水水體之優養化，在台灣地區屬於開放日照式之生物程序系統，造成溝渠中截留的微生物將有機氮分解為氨氮使得氨氮再次升高，而引起藻類滋生及臭味的問題，甚至在管線或溝渠有微生物生長的可能性，造成水體優養化之氮營養物質去除受到深切之關注及要求。理論上 1 mg/L 氨氮完全轉化成硝酸鹽氮需消耗 4.75 mg/L 溶氧，較有機碳消耗之溶氧高出 4~5 倍，致使水中溶氧下降至危害水體中生物生存的程度。故妥善規劃光電產業 TFT-LCD 廢水處理、提升綠色企業競爭力，實為刻不容緩之目標。

有效地回收水資源可解決水源開發不易與水資源不足之問題。如何有效處理不同之水質，且回收使用水質符合標準再利用，如：冷卻水塔用水、間接冷卻用水、生活用水、公共設施用水與其他用水等次級用水，甚至進一步提升回收水水質以符合至純水處理系統。法令規定南部科學工業園區全廠用水回收率應達 75%，但在過度回收再利用過程中將會影響產品良率及廠商之國際競爭力，大部分 TFT-LCD 廢水廠廠區內對水回收再利用部分只針對總有機碳 $<50$  mg/L、導電度 $<100$   $\mu$ S/cm。然而，若回收水中仍含有氮，則會影響回收水水質。如何能夠達到水資源再利用的目的，可謂之光電半導體業當前提升營運競爭力之重要課題。

多數國內廠商多無經驗與能力來降解光電業之有機廢水，例如傳統活性污泥法、接觸曝氣法、生物濾床等生物程序系統，常因廢水成分變化異常，而使生物可分解性改變，導致出流水之 TOC 不符合回收標準，主要因素是光電製程有機廢水對微生物會產生抑制性，另一因素，有機氮類濃度過高時，會造成硝化、脫氮作用

受到抑制，使氮類物質無法確實去除。也因此產生龐大之用水量和廢水量。

近年來 MBR 生物薄膜程序為一創新與極具發展潛力之有機廢水處理技術，藉由薄膜有效固液分離之技術，不僅可大幅提升廢水處理效率與生物操作穩定性外，更適用於生物不易分解、污染物濃度高或污染物負荷變化大之工業廢水上，更因其處理後之水質易於回用之優點，使其日趨受到重視。本文研究僅就回收再利用進行說明。

## 二、廢水特性

TFT LCD 製程廢水依性質大致可分為有機廢水、酸鹼無機廢水及生活污水等，其廢水成分特性如表 1 所示。

有機廢水中因含有 DMSO( $(\text{CH}_3)_2\text{SO}$ )、MEA( $\text{C}_2\text{H}_5\text{ONH}_2$ )、TMAH( $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$ )、表面處理劑及溶劑等高 TOC 成分，面臨傳統回收方式無法有效處理之困境，若欲達成水資源再生及達成園區管理局要求回收率之目標，唯有積極開發研究合適的有機廢水處理及回收再利用技術，才能保護水資源並降低產業設置成本，增加產業競爭力。

表 1 TFT LCD 製程廢水特性表

廢水分類(單位)	COD mg/L	BOD <sub>5</sub> mg/L	SS mg/L	T-N mg/L	pH
高濃度有機廢水					
(1)染料廢水	2,000	500	200	0	10~12
(2)氫氧化四甲基銨 2.1%	1,200	42,840	50	3,213	12
一般有機廢水					
(1)洗滌廢水	2,000	700	20		3~7
(2)家庭污水	800	560	100		6~9
(3)清潔劑廢水	5,000	1,000	50	200	3~7

表 1 TFT LCD 製程廢水特性表(續)

廢水分類(單位)	COD mg/L	BOD <sub>5</sub> mg/L	SS mg/L	T-N mg/L	pH
一般廢水					
(10)一般污水	300	100	100		6~9
(11)冷卻水塔廢水	50	20	20		7~9
(13)酸鹼再生廢水	30	10	20		2~12
(14)濃縮廢水	150	50	30		6~8
回收系統廢水					
(1)玻璃液清洗廢水)	800	500	50	60	<1
(2)廢鋁蝕刻液	600	420	20	100	2
(3)濃排	5,000	3,000	50	0	<1
(4)濃排清洗	600	300	20	0	3

### 三、回收處理技術評估

#### 3.1 高濃度有機廢水處理程序

奇美 FAB6 MBR 系統處理之高濃度有機廢水主要為 TFT 製程中剝離、濕蝕刻區產生之廢水，系統處理設計水量約 6,000 CMD，可處理 TOC 濃度低於 600 mg/L，產水經 RO 處理後全數回用至純水系統。為了去除有機碳及氮源，採用無氧/好氧的生物處理系統，配合 MBR 過濾處理水，系統除可處理製程排放之高濃度有機廢水外，還可將濃度較高之有機廢液(AL/ITO ETCH RINSE)批次進入系統處理，且能保持穩定且符合回收水水質標準。採用 MBR 回收水系統處理流程如圖 1，MBR 廢水處理原理及設計說明如下。

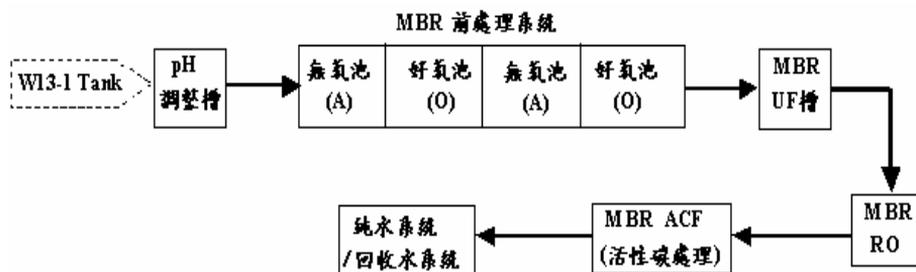


圖 1 MBR 回收水系統處理流程示意圖

### 3.2 無氧/好氧生物處理程序&MBR 系統

本研究之 MBR 程序如圖 2 所示，設計使用 2 段式之無氧、好氧生物處理程序，氨氮於好氧槽中進行硝化反應，並藉由持續回流好氧槽混合液至無氧槽進行脫氮作用，最後段之好氧槽則設置 UF 薄膜系統以進行最終固液分離程序，使用之 UF 為中空管狀薄膜，薄膜孔徑  $0.036 \mu\text{m}$ (參考圖 2)，出流水再經 RO 與活性炭處理後則回收至純水系統使用。

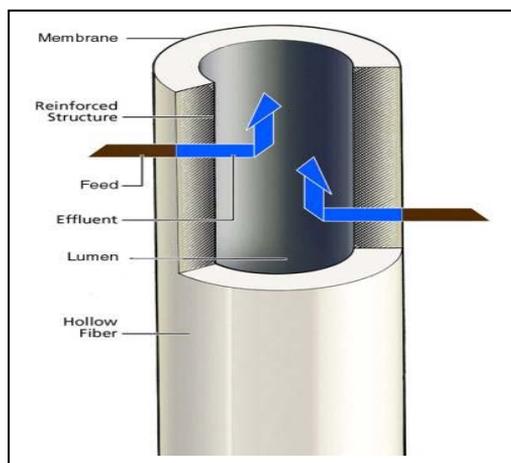


圖 2 中空管狀薄膜-UF 膜

MBR 薄膜過濾系統(membrane bioreactor)是藉由薄膜有效固液分離之性質(設備外觀與構造如圖 3 所示)，並提高 MLSS 濃度達到提高生物處理效率，可分解一般活性污泥法無法分解之有機物。MBR 主系統分為薄膜(membrane)、真空抽水機(permeate pump)、反沖洗(backpulse)與加藥(chemical addition)、鼓風(air injection)與排泥(waste sludge)等系統。薄膜直接安裝於最後曝氣池

### 130 奇美電子 MBR 系統應用於水回收再利用

內藉由真空泵吸取廢水過濾，正常操作壓力僅為 5~10psi（過濾流程圖如圖 4 所示），乾淨之過濾水可先儲存至反沖洗水槽，固定時間利用過濾水進行反沖洗程序，全程操作均為自動膜壓與流通量來控制（參考圖 5），以確保系統穩定性。

若不考慮除氮功能，水力停留時間可控制 3~16 個小時，比起一般傳統活性污泥法 6~8 小時的範圍要大許多，但不論操作多少水力停留時間，MBR 對於 COD 及 BOD 之去除仍可達一定之效果。



圖 3 設備外觀與構造

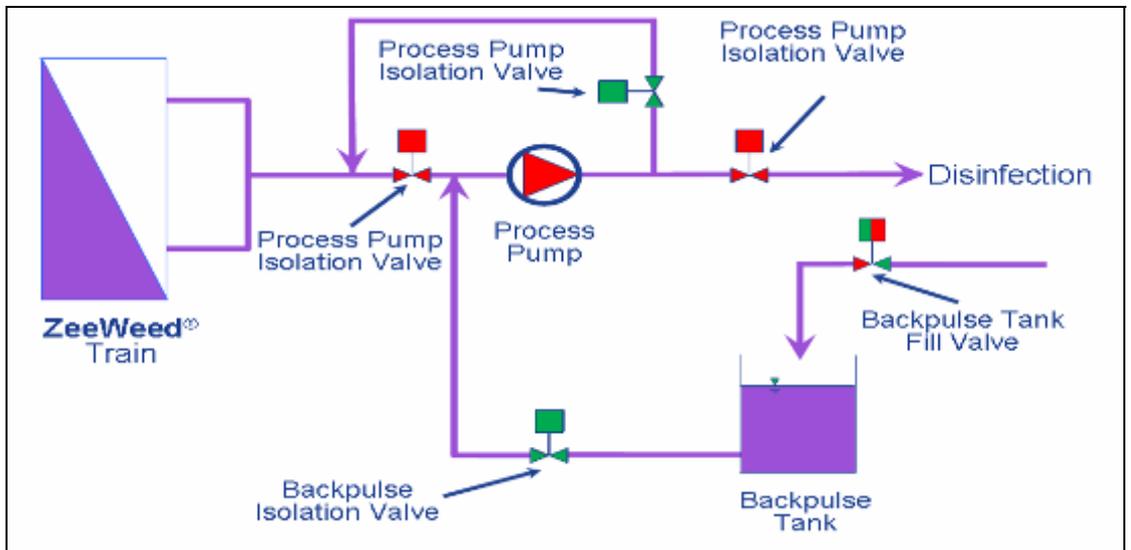


圖 4 MBR 過濾流程示意圖

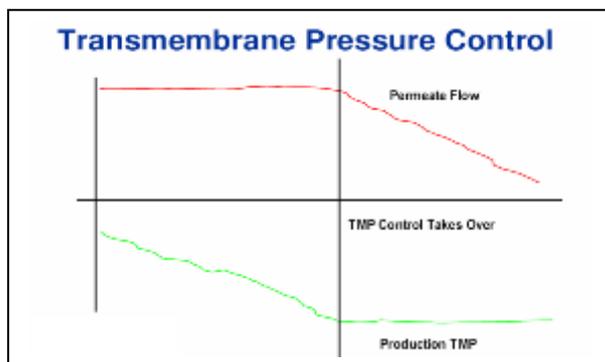


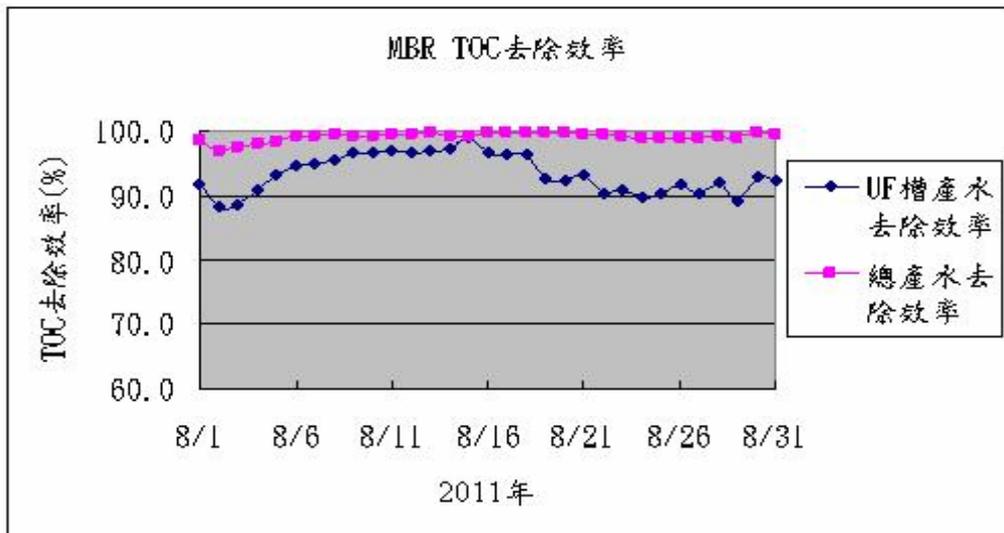
圖 5 自動膜壓與流通量控制

#### 四、MBR 系統處理運轉結果

- 1.FAB6 MBR 有 3 條平行槽體進行採水，其單條槽體設計處理水量為 2,000~2,200CMD，總處理水量約為 6,000~6,400CMD。
- 2.MBR 主要設計參數及系統目標水質如表 2 所示。
- 3.由圖 1 了解到 MBR 回收水系統處理流程是由 MBR UF、RO 及 ACF 各單元所構成，由圖 6 得知經過 MBR 生物系統後其產水 TOC 平均去除效率可達 90%以上，TOC 總去除效率更達到 99%以上，顯示 MBR 系統對於 TOC 有良好的去除效率。
- 4.MBR UF 膜在正常操作之下，其膜內壓力及產水量..等皆在設計參數範圍之內。但薄膜(UF 膜)一旦受損，其膜內壓力、產水濁度及產水量皆會受限，其表現關係如圖 7 所示。
- 5.高導電度含氮廢水經 UF 膜、RO 膜濃縮後迴流至 MBR 前處理系統，會造成更高的導電度，由圖 8 得知，控制 RO 濃縮水迴流量，在適當的迴流比例之下，其導電度變化對於產水水量影響並不大。
- 6.建議薄膜單元前需有一過濾設備來保護薄膜。若系統內有較高的 MLSS 濃度 (~10,000 mg/L)，其系統產水濁度並不會隨之提高，但需留意操作(膜內)壓力及逆洗次數(可提高逆洗時間或逆洗頻率)，其關係如圖 9 所示。

表 2 MBR 設計參數及系統目標水質表

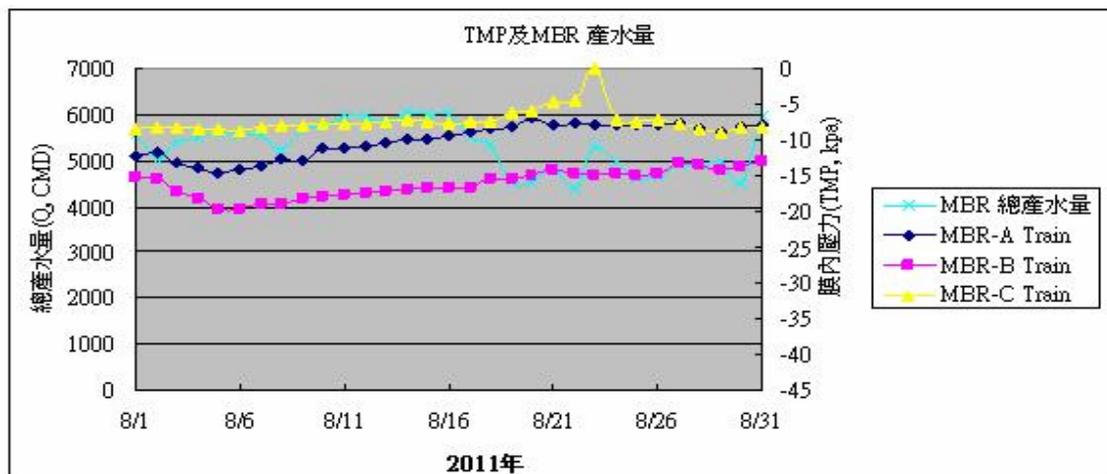
設計參數	
MLSS	3,000~10,000 mg/L
F/M	0.02~0.2
操作壓力	0~45 kpa
迴流量	1~6 Q
污泥齡(SRT,天)	30~200 天
目標水質	
inlet TOC	400~600 mg/L
MBR 產水濁度	< 1.0 NTU
MBR 產水 TOC	< 10 mg/L
RO 產水 TOC	< 1 mg/L
RO 產水導電度	< 200 $\mu$ S/cm
ACF 產水 TOC	<1 mg/L
ACF 產水導電度	< 150 $\mu$ S/cm



備註：UF 槽產水去除效率=(入口 TOC-UF 槽產水 TOC) x 100 / 入口 TOC

總產水去除效率=(入口 TOC-ACF 產水 TOC) x 100 / 入口 TOC

圖 6 薄膜系統與整體產水 TOC 去除效率



備註：MBR-B槽體為受損過薄膜，故其膜內操作壓力較其他組高。

MBR-C 槽體所使用之薄膜為新的 UF 膜，故其膜內壓力較低。

圖 7 薄膜系統膜壓與流量變化

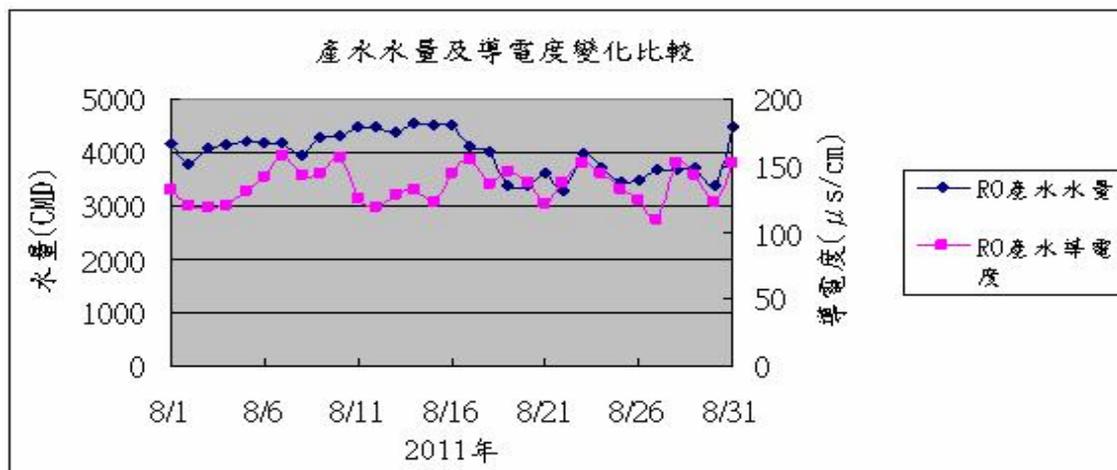
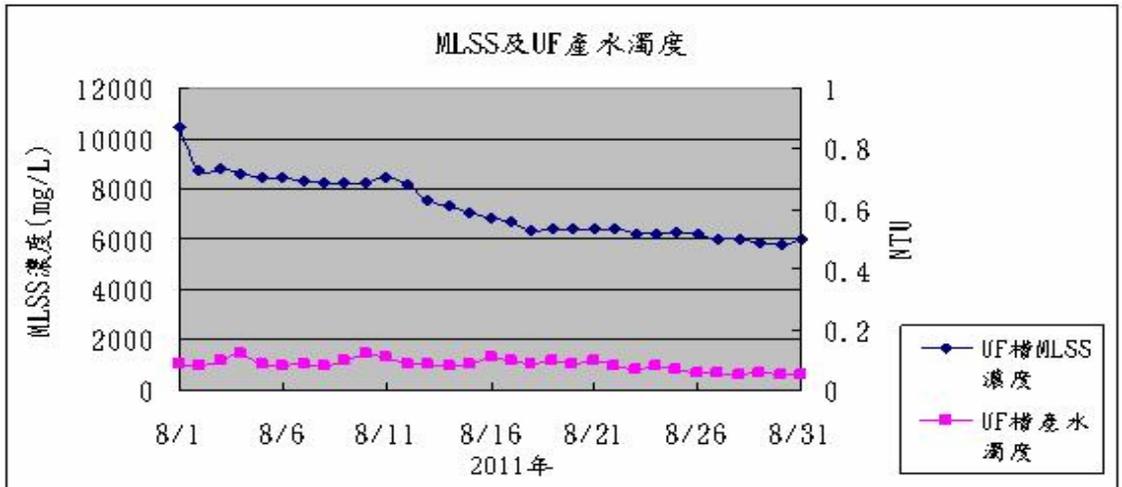


圖 8 RO 系統產水量與導電度變化



備註：MBR MLSS 因水質變化調整濃度，但對整體產水濁度影響差異不大。

圖 9 薄膜系統產水濁度與 MLSS 變化

## 五、操作實績及問題檢討

本研究運轉至今連續操作已超過 3 年，處理水質之穩定與長時間之操作下產生之異常狀況將於下述研究探討及說明如下。

### 5.1 有效之固液分離

MBR 系統中會以調整污泥迴流量、污泥外部植種、添加營養鹽(微量元素)的方式來增加污泥濃度，因為污泥的濃度將會影響硝化/脫硝能力、TOC 去除效率、污泥齡及食微比(F/M)等。因此是否有效之固液分離，將是後續處理流程之重要關鍵，雖然生物槽中之 MLSS 高達 6,000~10,000 mg/L，但經薄膜過濾後濁度可維持在 0.1 NTU 以下，還能得到更佳之水質。

### 5.2 穩定自動化操作

MBR 所處理的廢水從入口(W13-1 tank)、MBR UF 槽產水、RO 單元產水及 ACF 單元產水皆有線上 TOC 分析儀監控其測值以確保水質穩定外。MBR 前處理單元(無氧/好氧系統)各池皆增設 pH、DO 線上監控儀器，部分水池亦有 MLSS 及 ORP 線上監控儀器。

MBR UF 膜系統”採水-排氣-逆洗”為一個循環(cycle)或稱作採水程序，一天之中需連續進行多次循環或連續採水，故系統已規劃為全自動化。若正常採之下因膜壓升高需進行的保養清洗也幾乎是以自動化的方式進行清洗，如此可降低人員的操作負荷，且達到水量回收最佳化。

### 5.3 回收水質穩定

MBR 廢水經過 MBR UF→MBR RO→MBR ACF 等處理單元後，其產水水質若異常(TOC、導電度偏高)，則此股水源將自動排進次級用水或廢水系統，以確保純水質的穩定性，長期操作觀察 MBR 串聯 RO 系統確實可提升回收價值，為處理水質做進一步之把關。

### 5.4 薄膜破損問題研究

由 MBR 主要設計參數中了解到系統膜內操作壓力需大於-45 kpa(建議值)，原廠建議若操作壓力偏離該建議值，需進行 UF 膜槽內線上保養清洗(maintenance clean/CIP)，目的在於使 UF 膜恢復正常通量。

本研究 MBR 系統於負壓情況下進行採水(依水槽設計方式而不同)，若薄膜有破損的現象，則膜內壓力會有偏低的現象，但系統仍可產水。本廠 MBR 系統操作壓力為-5 kpa 以上，若薄膜破損時其操作壓力為 0~-2 kpa。此外，尚有一些現象皆是薄膜可能破損或是已經破損的徵兆：(a)產水濁度偏高(大於 0.1 NTU)；(b)系統進行保養清洗大幅頻率降低，一般約半個月至一個月保養清洗一次(依薄膜壓力上升狀況而定)。

避免薄膜破損方法有：(a)進入薄膜前加裝過濾裝置、(b)於迴流設備中加裝過濾裝置及(c)於薄膜槽增加上蓋板，避免異物掉入槽內。

### 5.5 EPS 問題研究

文獻中<sup>[2]</sup>表示，EPS(extracellular polymeric substances)可能是造成 MBR 薄膜阻塞的主要原因之一，其阻塞的程度與 PS(Polysaccharide)濃度呈線性的關係。廢水的種類、污泥負荷的程度、污泥齡及 MLSS 濃度皆是影響溶解 EPS 濃度多寡的因子。文獻中<sup>[3]</sup>表示，膠體性的物質會影響 MBR 薄膜效能表現，而這些膠體性的

## 136 奇美電子 MBR 系統應用於水回收再利用

物質可能為 EPS 或是 SMP(soluble microbial products)。

以本廠為案例，MBR 系統由無氧好氧(A/O)改建為 A/O/A/O 系統時，因槽體體積增加造成 MLSS 濃度降低。為了增加污泥濃度，故將系統排泥量降低、迴流量增加，但系統在操作期間不但污泥濃度上升遲緩，而且還造成系統 COD(TOC) 升高、MBR UF 槽產水 TOC 增加，還有 RO 及 ACF 單元產水 TOC 亦增加。另藉由產學研究國立成功大學協助分析水樣，結果發現系統因減少排泥後，污泥齡(SRT)較高造成系統內部出現許多老化污泥或是膠體性物質。而這些膠體性物質是 UF 薄膜較不易去除的，基本上來說，UF 薄膜可過濾掉分子量大於  $10^4 \sim 10^5$  以上的物質，但分析 UF 薄膜產水水樣發現有  $10^3 \sim 10^4$  的低濃度類蛋白物質，也就是 EPS。分析結果如圖 10 得知，較高的污泥齡會造成系統 EPS 的產生，且 EPS 會貢獻 TOC，使得 TOC 測值上升。而較小分子量的 EPS 會穿透 UF 薄膜，影響產水水質。

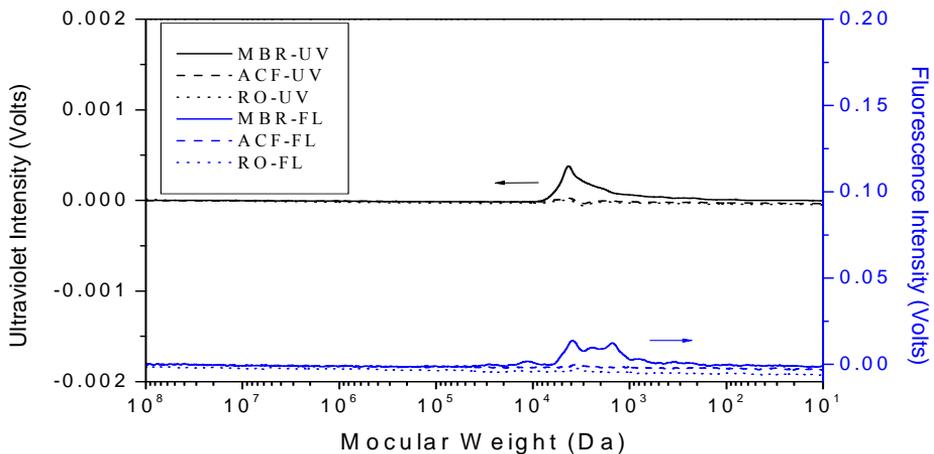


圖 10 各單元產水 EPS 濃度分析

效益分析(不含系統脫硝)

1. 污泥處理費用：20~30 萬元/月
2. 電費：50~60 萬元/月
3. 儀表維修及藥劑費用：15~20 萬元/月
4. 可回收水量：1,850,000 m<sup>3</sup>/年

## 六、結論

全球氣候變遷，缺水現象日趨明顯，企業應針對用水回收盡更大之心力，惟部份投資效益與回收成本不成比例，或是尚未獲得有效之廢水回收處理方式，此舉動可能影響企業競爭力，在此之前，雖然廠區持續推動用水開源節流，但對於台灣無水則旱，有水則澇現象，公司的經濟安全遭受考驗，水扮演著關鍵的角色。水資源短缺，便會影響企業投資意願或遷移至資源豐富的地方，未來水資源的安全與否會成爲經濟發展的決定性要素。

企業團體應持續進行節水動作，將節水做到極致，尤其是全球氣候之變化所造成之旱象頻傳，更督促我們須對用水管理更進一份心力，希望藉由本研究之操作經驗，能提供作爲國內水資源再生與循環再利用技術之重要參考。

## 致謝

在此感謝國立成功大學永續環境研究中心環境生物技術研究群，包括鄭幸雄教授、陳賢焜副教授、黃良銘副教授及其研究團隊共同參本計畫，提供 MBR 系統理論相關操作參數及數據分析研究結果。

## 參考資料

- 1.奇美電子股份有限公司與成大產學產學合作年度計畫書，鄭幸雄、黃良銘。
- 2.Anja Drews et al., Influence of unsteady membrane bioreactor operation on EPS information and filtration resistance., Desalination 192, 1-9., 2006.
- 3.S. Rosenberger et al., Impact of colloidal and soluble organic material on membrane performance in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment., Water research 40, 710-720., 2006.
- 4.美商奇異(GE)公司 Water &Process Technologies, MBR UF 膜出廠相關教育訓練資料。