

# 淡化廠薄膜解剖分析與阻塞鑑定-以白沙淡化廠為例

黃志彬<sup>1</sup> 林哲昌<sup>2</sup> 楊惠玲<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國立交通大學環境工程研究所 教授 <sup>2</sup> 中興工程顧問社 高級研究員

<sup>3</sup> 國立交通大學環境工程研究所 研究生

## 摘 要

白沙淡化廠乃屬二階段 RO 薄膜操作模式，並以鹹井水進行淡化，本研究分別採取已阻塞且不堪使用之第一階段及第二階段 RO 膜各一，運送至本實驗室進行解剖分析。除檢視膜之外觀物理性質外，更截取單一片膜，並於不同部位取下小膜片，依序以 DI 水、硫酸及氫氧化鈉浸泡，伴隨超音波震盪，以萃取膜上之阻塞物，而後進行浸泡溶液之各項水質分析。除探討造成薄膜阻塞物種之物化及生物特性外，更區分不同薄膜部位，探討其阻塞程度與型態。

研究結果可以見得，就白沙淡化廠之二階段 RO 薄膜操作模式而言，經匣式濾芯過濾後，未被濾除之大顆粒膠體及有機物直接沉澱於第一階段 RO 膜進水端，導致第一階段 RO 膜以膠體及有機性阻塞為主，且可能因為有機物之沉澱，導致無機鹽類較不易於膜上析出；而經此階段濃縮後之濃縮液，其元素濃度增高，為造成第二階段膜結垢之主因，且愈接近出水端，結垢量愈多，且結垢成分明顯以鈣化合物為主，並以結晶型態析出於薄膜表面。另根據微生物之染色分析結果，顯示無論第一階段或第二階段 RO 膜表面皆有大量微生物沉澱，微生物活性對膜阻塞之影響，應為後續操作改善之相關研究所必須加以重視之課題。

## 1. 前言

澎湖縣乃由各大小島嶼所組成，由於缺乏雨水及河川，飲用水水源僅能依賴有限的地下水及海水，因此目前各鄉市皆以海水淡化廠或鹹井水淡化廠為主要的供水來源，水處理則以 RO 逆滲透為主要程序，然目前各海淡

廠及鹹井水淡化廠皆面臨嚴重的薄膜阻塞問題，因此，檢視阻塞原因及改善操作方式實為現階段刻不容緩的研究議題。

早期對於薄膜之阻塞評估，多倚賴間接參數如通量、壓力及去除率等，關於膜表阻塞物之直接鑑定分析，最早於 1970 年代<sup>(Winters and Isquith, 1979)</sup>即有學者究由膜之解剖來觀察 RO 膜之阻塞，然其解剖後之分析僅以 SEM 照片為主，直至 1990 年代，方有學者對膜之解剖及分析有更進一步之定義與利用，如 1995 年 Butt 及其研究群於其模廠試驗中，首度將膜表阻塞物分離，並利用各種分析方法，進行阻塞物之鑑定，而後 Vrouwenvelder 及其研究群更進一步定義膜之解剖分析步驟<sup>(Vrouwenvelder and van der Kooij, 2001)</sup>，Gwon 等(2003)之研究則詳細描述阻塞物之萃取方法，近來學者多採用類似之方法或加以些許改良。

目前國內藉由膜解剖以鑑定阻塞原因之研究仍十分缺乏，由於阻塞原因不明，導致無法對症下藥，尋求正確之改善方法，因此本研究希望藉由膜之解剖分析結果，了解造成阻塞之問題所在，提供作為時場操作改善之參考。

## 2. 方法

### (1) RO 膜來源

本研究之 RO 膜，乃選取白沙淡化廠已阻塞不堪使用之 RO 膜，進行解剖分析，白沙淡化廠為二階段之 RO 處理程序，前處理包括曝氣、匣式過濾及加酸，共有 2 套 RO 膜組，每套系統具 5 根壓力管，每根壓力管填充 6 根捲式 RO 膜，前三根並聯壓力管為第一階段 RO，濃縮液平均進入後二根並聯壓力管，屬第二階段 RO，因此本研究分別採此二階段 RO 膜之各一根進行解剖分析。

## (2) 膜的解剖與阻塞物萃取

膜的解剖首先在去除玻璃纖維外殼後，先行攤開檢視外觀特性，隨即切取出一片膜，並於不同部位取下  $1.7 \times 1.7 \text{ cm}^2$  之膜片，本試驗分為 12 部位，包括進水端、出水端、內層(靠近中心清水收集管部位)與外層(靠近玻璃纖維膜殼部位)等方位進行探討，膜片依序以 DI 水、0.1N 硫酸、0.1N 之氫氧化鈉配合超音波震盪，分別浸泡 5 小時，而後進行每一採樣位置之三種水樣之各項水質分析。

## (3) 萃取液分析

萃取液之分析包括有 DAPI 總菌數計數、元素分析。

## (4) 薄膜直接鑑定

薄膜直接鑑定之項目包括膜乾重焚化定量及 SEM-EDS、FTIR 等貴重儀器進行膜表之直接掃描分析結果。

# 3. 結果與討論

針對白沙鹹井水淡化廠之阻塞 RO 膜分析結果，以下就外觀、乾重、元素分析、微生物定量及其他儀器分析結果分別敘述。

## (1) 外觀檢視

經由外觀檢視，第一階段 RO 膜與第二階段 RO 膜之總重量相較之下，以第一階段 RO 膜輕許多，二捲式膜經解剖攤開後並裁取一片膜，如圖 1 所示，可見第一階段 RO 膜表面沉積物呈咖啡色、黏膜狀，RO 膜進水端色深，出水端色淺；第二階段 RO 膜，膜表面沉積物呈黃色，具明顯之結垢狀、質硬，且 RO 進水端色淺，出水端色深。

圖 2 為薄膜於 400 倍光學顯微鏡下所呈現之影像，第一階段 RO 膜可

見龜裂之阻塞物沉積，第二階段 RO 膜照片則顯示平整之表面沉積，圖 3 為 RO 膜 10000 倍之電子顯微照片，可清楚見得第一階段 RO 膜表面累積不規則形狀之阻塞物，並有桿狀微生物分布於上，大小約  $1 \sim 2 \mu\text{m}$ ，而第二階段 RO 膜表面則可明顯看出特殊結垢物之結晶形態。

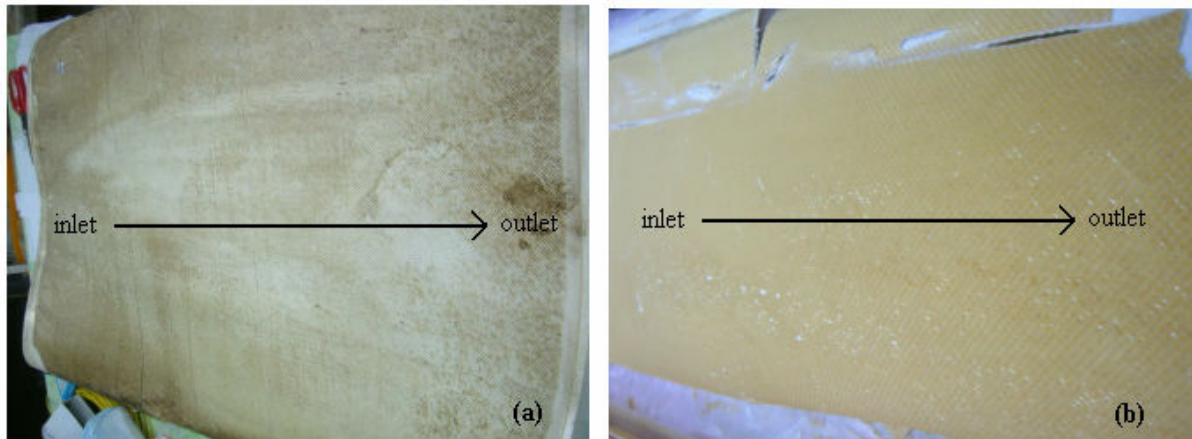


圖 1 RO 膜攤開圖(a)第一階段 RO 膜(b)第二階段 RO 膜

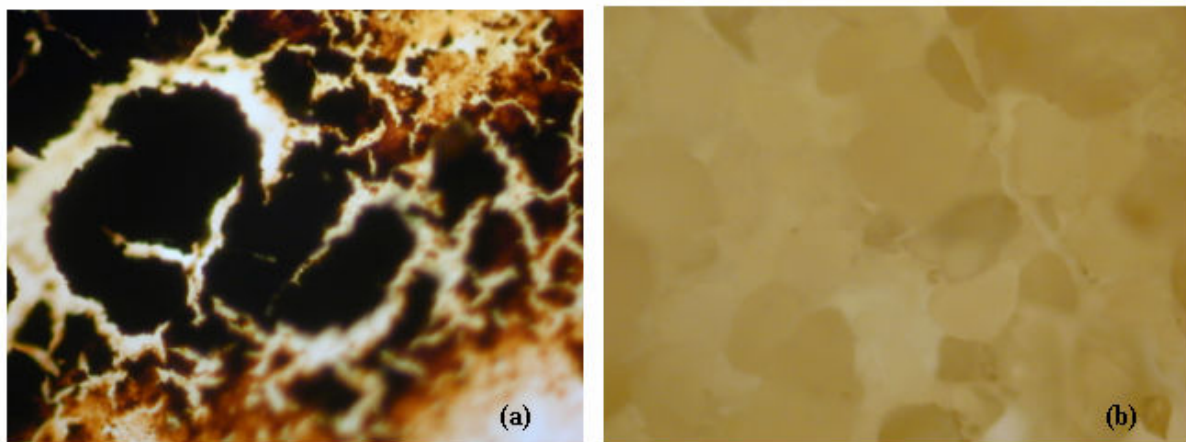


圖 2 RO 膜 400X 顯微影像(a)第一階段 RO 膜(b)第二階段 RO 膜

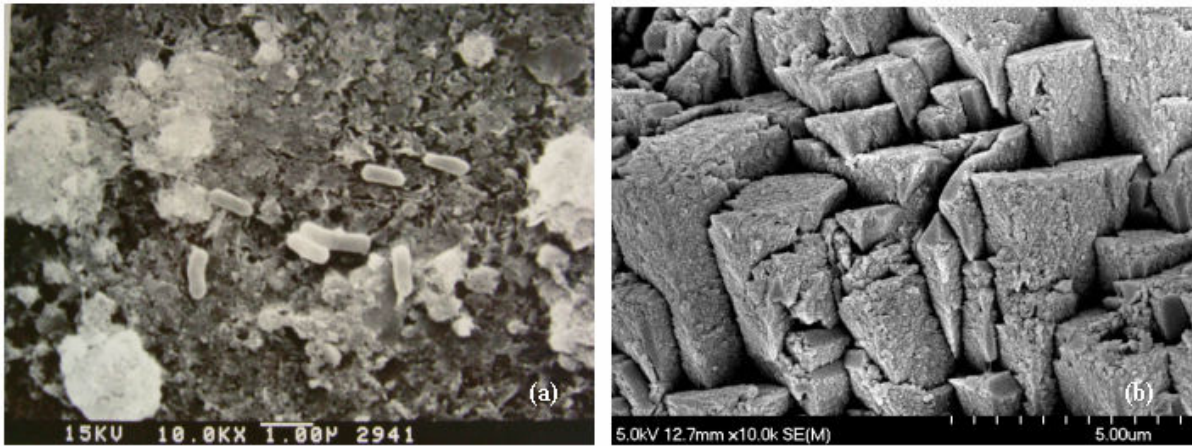


圖 3 RO 膜 10000X 電子顯微影像(a)第一階段 RO 膜(b)第二階段 RO 膜

## (2)膜乾重焚化定量

以 550°C 可被焚化之物質作為有機質定量之代表，將二階段 RO 膜之分析結果依上下游排列，結果如圖 4 所示，橫座標位置 1~4 屬第一階段膜，5~8 則屬第二段膜，愈接近第二段膜之出水端，其可焚化之成分含量愈高，即有機含量愈高，然第一階段膜之各位置焚化損失重量約佔總阻塞物重之 85~93%，第二段膜則僅佔 5~8%，顯示第一階段膜之阻塞物多為可焚化物質，可能以有機質為主要阻塞型態，且藉由焚化後之灰份可見第一階段膜所殘餘之成分為砂質顆粒，第二段膜則為片狀硬塊(圖 5)，故可推論第一階段膜主要以膠體顆粒及有機物為主要阻塞物，第二段膜則以非有機物質為主。

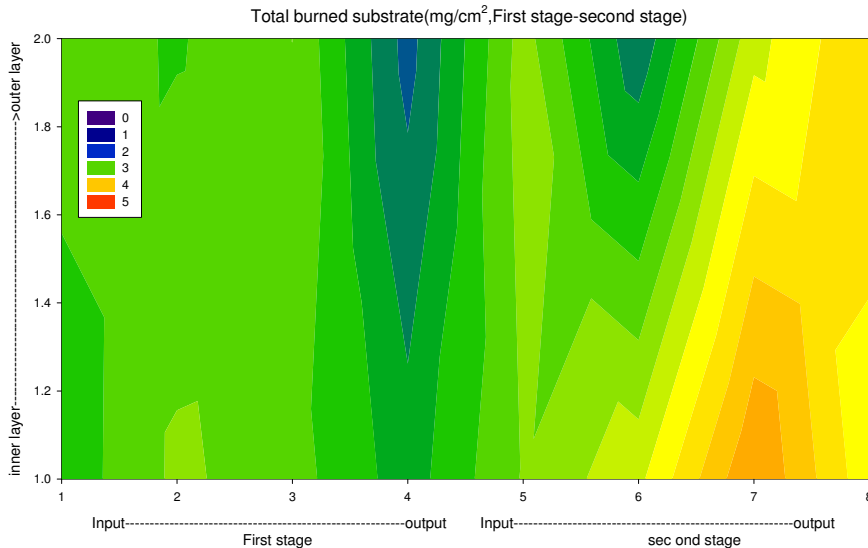


圖 4 第一、二階段膜之膜表累積有機物總量分布圖  
(X 座標與 Y 座標分別代表實際膜上之位置)

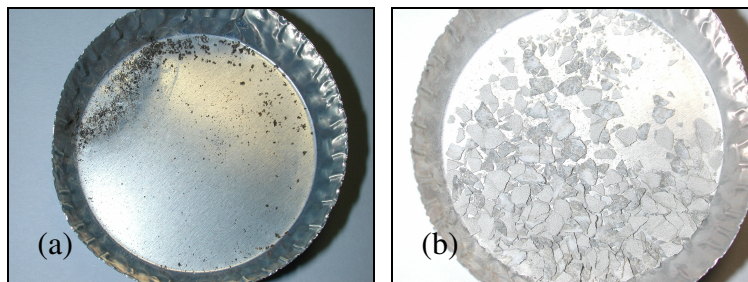


圖 5 第一、二階段膜之膜表累積非有機物焚化殘餘灰份  
(a)第一階段 RO 膜(b)第二階段 RO 膜

### (3)結垢物元素分析

圖 6 及圖 7 為泡膜萃取液以 ICP 及 AA 進行之元素分析結果，其所分析得之元素總量百分比，由圖 6 中可見第一階段 RO 膜並沒有較特異性之元素沉澱，其最大元素含量為 Al 之  $1.44 \text{ mg/cm}^2$ ，相較於第二階段膜(圖 7)，僅與 Fe 含量相當，顯示第一階段膜之各種元素含量皆十分微量，然第二階段膜之分析則顯示，Ca 含量特別高，表示其表面結垢物乃以 Ca 之化合物為主。

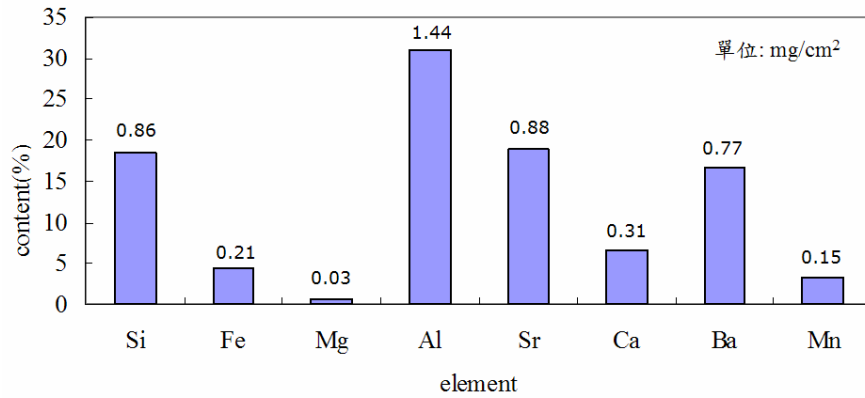


圖 6 第一階段膜之膜表累積元素總量百分比

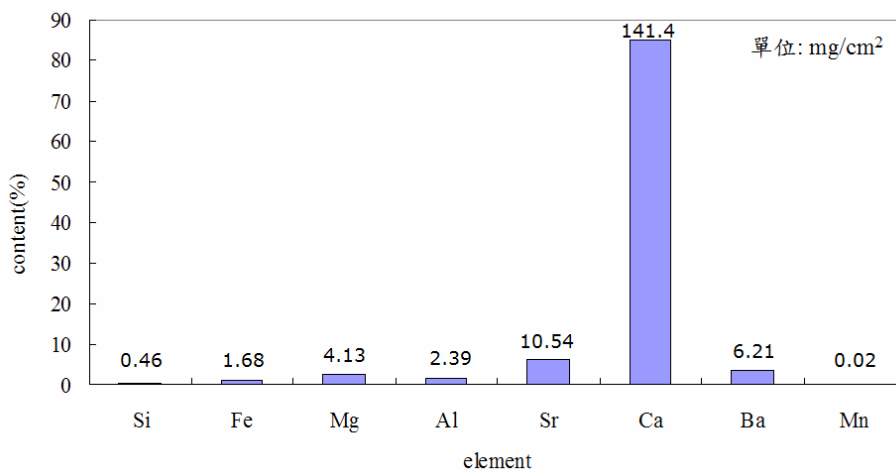


圖 7 第二階段膜之膜表累積元素總量百分比

此外，為了建構出實際 RO 膜表面之結垢物總量分布表象，乃將每一分析位置之結垢物總量，以該位置之各元素含量總和表示，並將具上下游關係之第一階段與第二階段 RO 膜數據合併作圖，如圖 8 所示，於橫座標位置 1~4 屬第一階段膜，5~8 則屬第二段膜。該圖顯示第一階段膜每單位面積所累積之結垢物含量很少(最高累積濃度約為  $0.5 \text{ mg/cm}^2$ )，而第二階段膜則明顯多許多(累積濃度皆大於  $10 \text{ mg/cm}^2$ )，造成如此大之差異，可能導因於第一階段膜於水進流之初即有大量有機物沉澱，導致結垢物較不易於膜上結垢，而愈往後段之膜所面對之進流水，所含之有機物已多屬無法以重力沉澱之溶解性有機物，因此，此時濃縮液之濃度則影響鈣或其他元素之化合物於膜表面沉澱析出，愈接近出水端，單位膜面積之結垢含量愈高。

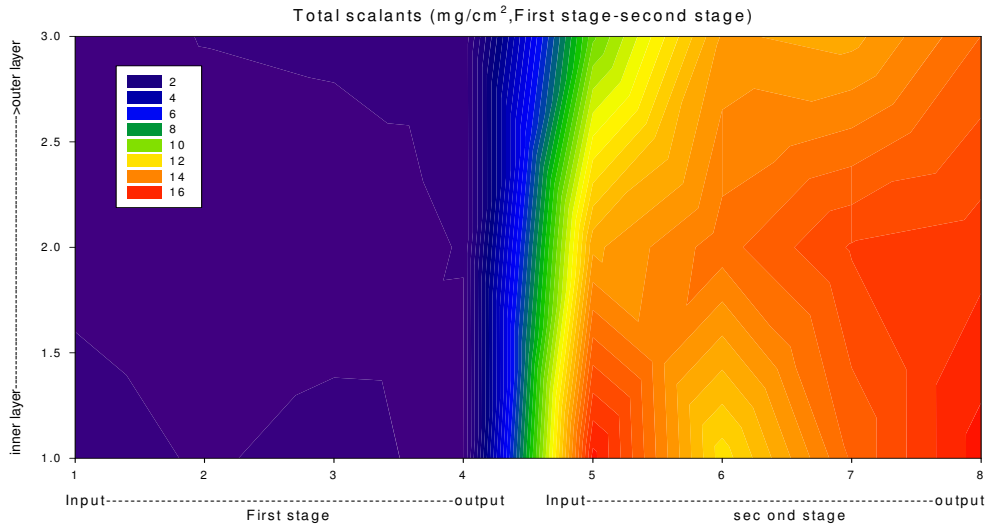


圖 8 第一、二階段膜之膜表累積結垢總量分布圖  
(X 座標與 Y 座標分別代表實際膜上之位置)

#### (4)微生物分析

經由 DAPI 染色計數，所得結果如圖 9 所示，其中橫座標位置 1~4 屬第一階段膜，5~8 則屬第二段膜，由圖可得知，二段膜表面皆有大量微生物存在，特別是第一階段膜，因此生物性阻塞對鹹井水淡化膜阻塞之影響，亦為實廠操作改善策略之考量中必須加以重視之課題。

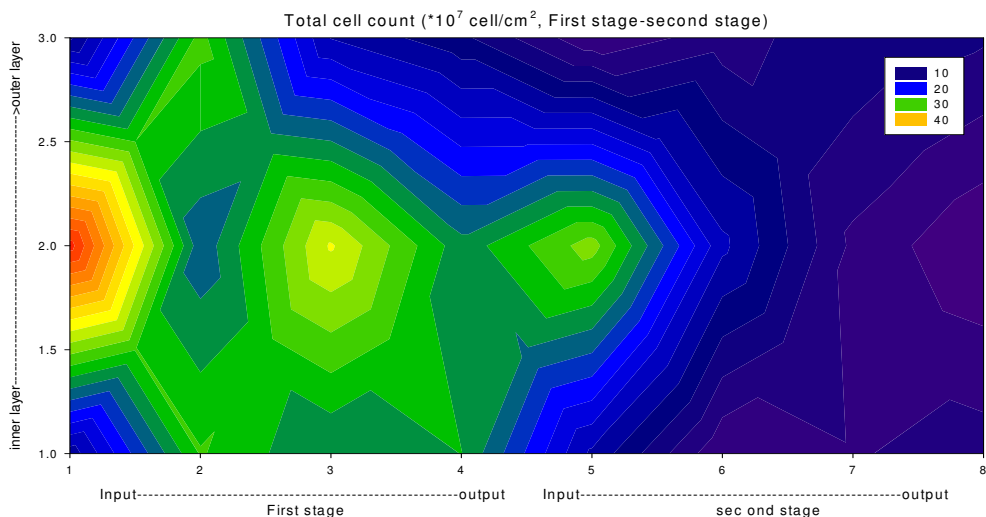


圖 9 第一、二階段膜之膜表總菌數分布圖  
(X 座標與 Y 座標分別代表實際膜上之位置)

#### (5)EDS 分析結果

EDS (能量散射光譜儀)之分析結果，如圖 10、圖 11 所示，此結果與泡

膜分析結果相似，第一階段膜表面累積之元素種類多，第二階段膜則以鈣為主要之結垢成分物質。

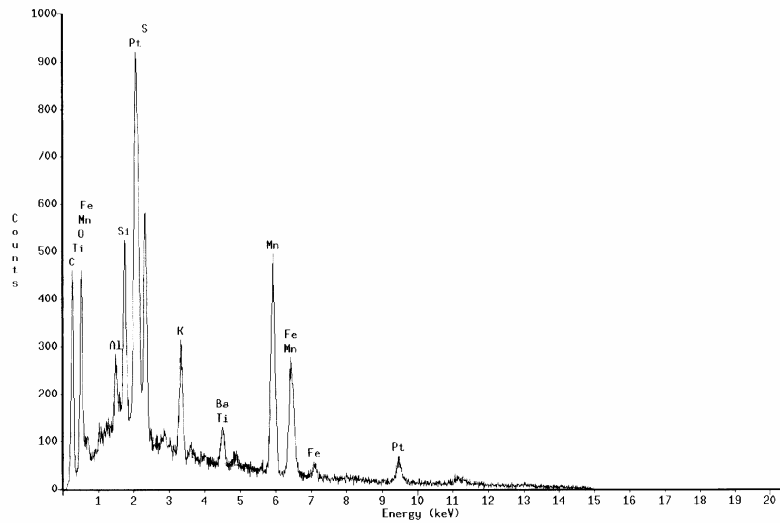


圖 10 第一階段膜之 EDS 分析結果(Pt 為分析前濺鍍之金屬)

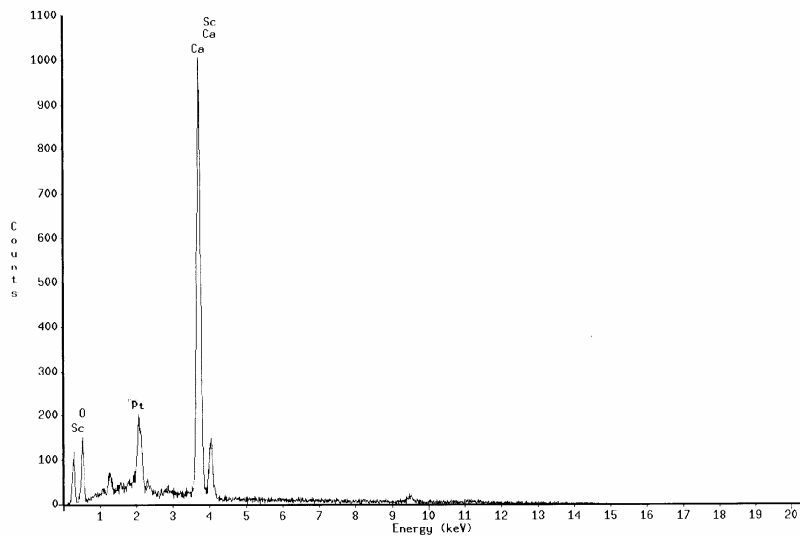


圖 11 第二階段膜之 EDS 分析結果(Pt 為分析前濺鍍之金屬)

## (6) FTIR 分析結果

FTIR 之分析結果如圖 12 所示，由圖可知，相較於乾淨之薄膜，第一、二階段膜圖譜之波峰明顯少許多，此乃因為薄膜本身之訊號已多被表面沉積物覆蓋，另第一階段膜與乾淨薄膜之圖譜較為相似，乃因薄膜上之積垢物較少，然亦由於其特異之波峰較少，較難進行其官能基之辨識。第二階

段膜之圖譜放大如圖 13 所示，其所顯示之波峰極為單純，表示有機物含量不高，且根據專書「Infrared spectral interpretation-a systematic approach」內之內容中以主要成分為非有機物之樣品進行分析之結果，比對後本試驗結果與該書之碳酸鈣 FTIR 圖譜十分相似，該圖譜乃為無機碳酸根之表徵，加上本試驗所得之主要元素為鈣，故推測第二階段薄膜表面之結垢物屬碳酸鈣結垢。

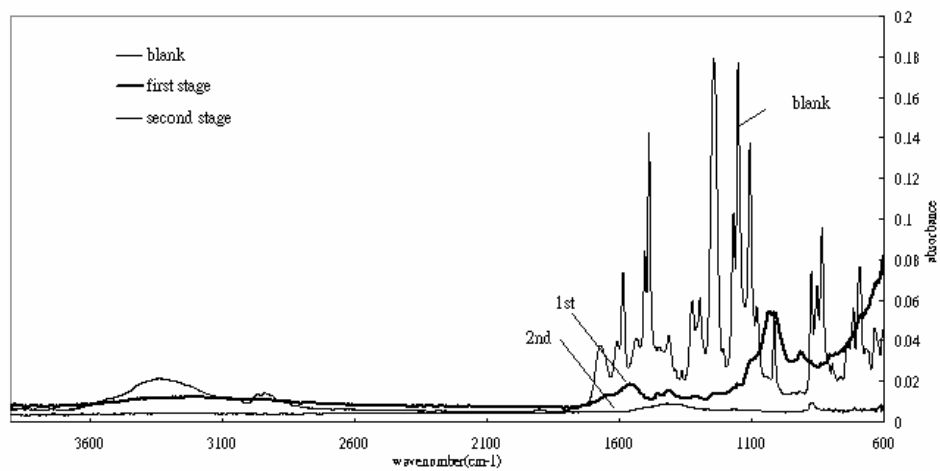


圖 12 FTIR 分析圖譜

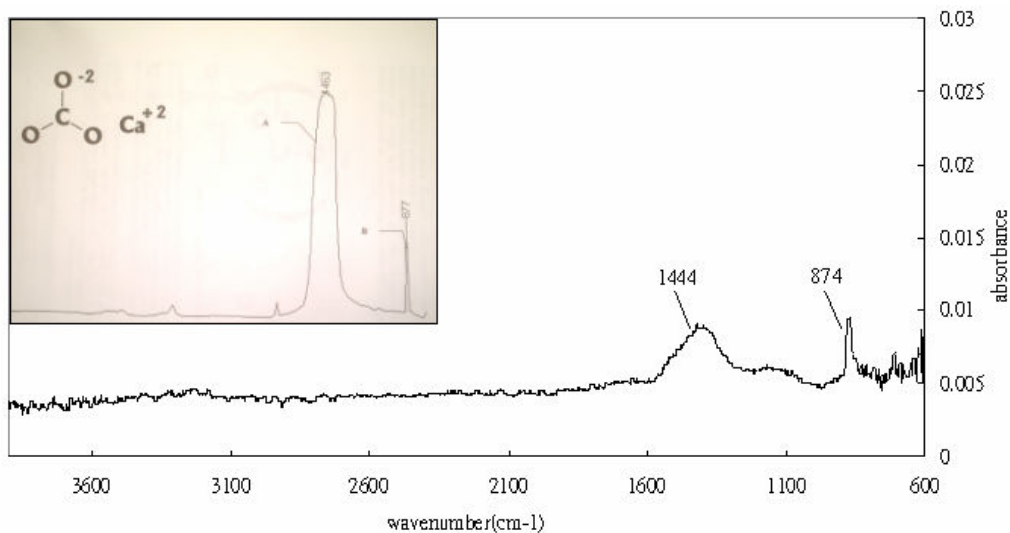


圖 13 第二階段膜與文獻碳酸鈣 FTIR 比較圖譜

#### 4. 結論與建議

藉由各項分析結果發現此二階段 RO 膜之阻塞型態十分不同，第一階段

RO 膜以有機及膠體性阻塞為主，第二階段 RO 膜則屬無機性結垢，主要成分為碳酸鈣，此外，二階段 RO 膜表面皆可分析到大量之微生物，因此，前處理之匣式濾芯孔徑之選擇與品質及 pH 值、微生物之控制，皆為改善淡化廠之膜阻塞問題，所必須加以考量。

## 5. 致謝

感謝自來水公司提供實廠 RO 膜，使本研究得以順利進行。

## 參考文獻

- Butt, F.H., Rahman, F. and Baduruthamal, U. (1995) Identification of scale deposits through membrane autopsy, *Desalination*, 101, 219-230.
- Gwon, E.M., Yu, M.J., Oh, H.K. and Ylee, Y.H. (2003) Fouling characteristics of NF and RO operated for removal of dissolved matter from groundwater, *Water Research*, 37, 2989-2997.
- Smith, B.C., 1998, Infrared spectral interpretation-a systematic approach, CRC Press, Florida, U.S.A.
- Vrouwenvelder, J.S. and van der Kooij, D. (2001) Diagnosis, prediction and prevention of biofouling of NF and RO membranes, *Desalination*, 139, 65-71.
- Winters, H. and Isquith, I. (1979) , In-plant microfouling in desalination, *Desalination*, 30, 387-399.