

## 直接滲透程序可行性評估

劉柄樟 林柏蔭 林易鋒 沈弘翊 熊靖瑞 賴振立\*

嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

### 摘 要

直接滲透技術(Forward osmosis, FO)已被應用在多種分離程序，如廢水處理、食物處理、海水淡化或微鹹水回收。FO 是利用高滲透壓差，將水從進料端透過一個親水膜到吸引溶液的過程。

本研究製備適用於 FO 薄膜技術之醋酸纖維 (Cellulose acetate, CA) 親水性非對稱膜，並藉由效率佳且耗能少的 FO 薄膜技術，應用於水回收技術，使 FO 程序更具效益。CA 以濕式法製備平板膜，以 FO 系統進行透水率測試，透水率可達  $16.76\text{kg/m}^2\text{hr}$ 。

**關鍵詞：直接滲透、醋酸纖維、水回收**

\*通訊作者:嘉南藥理科技大學環境工程與科學系  
Tel: +886-6-2664699  
Fax: +886-6-2669090  
E-mail: clai23@mail.chna.edu.tw

### 壹、前言

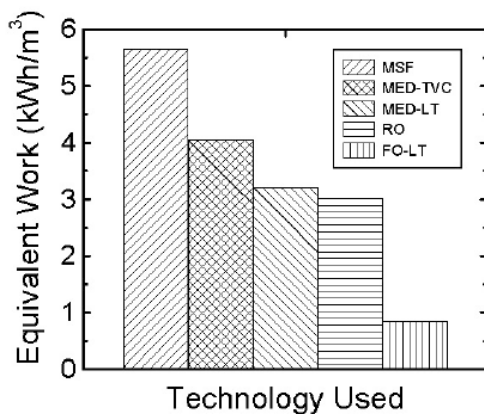
依據經濟部估計，以人口成長與經濟發展的需求，民國 100 年起台灣地區的供水量將少於需水量(213 億立方公尺)，將呈現嚴重缺水情形，因此台灣對於水資源回收技術的發展將更為重要。水回收技術與應用淡化技術來開發輔助水源為目前各先進國家最常採用的方法(Gleick, 1996)。所產製的淡化水不僅用來供應民生用水、公共給水及灌溉用水等，也供應一般工業用水。同時，由於淡化水的水質較好，也提供作為高科技半導體廠超純水的原水。

廢水回收及淡化技術中使用直接滲透式薄膜技術屬於節能、有效率且具有未來商業性之方法，欲發展直接滲透式薄膜技術則需從膜材開發及模組設計改良著手；然而欲利用商業化結晶型高分子薄膜從事應用研究，則會面臨薄膜之孔洞、孔隙結構、厚度等表面性質無從選擇的問

題，加上商業化膜之價格高昂，因此從實用或經濟效益來看，都值得去開發具備特殊孔隙結構及表面特性之薄膜，用於發展高效率且節能之直接滲透式薄膜技術。

直接滲透式薄膜技術開始受到注意是因為廣泛的應用於廢水處理(Mi et al. 2008)，飲用水的生產(Wallace et al. 2008)，海水淡化(Wang et al. 2009; Martinetti et al. 2009)，發電(Lee et al. 1981)，鹽水濃縮(Tang et al. 2008)，蛋白質濃縮(Yang et al. 2009)，以及有機溶劑的脫水(Madaeni et al. 2008)。同於外界的壓力推動分離過程，FO技術是利用進料端與吸引溶液(draw solution)之間的滲透壓差而驅動，可以有效防止膜污染；因此相對於nanofiltration (NF)或是逆滲透(RO)過濾，FO是一種能源效率更高的分離技

術(McGinnis et al. 2007)，如圖一所示，且在脫鹽過程中，回收率高，沒有濃鹽水的排放，實現零排放，屬於綠色產業型技術；應用廣泛，可以應用於再生能源、水處理技術、液體食品的濃縮及藥物釋放等諸多領域。因此在能源費用日漸提高與環境保護的評估下，FO技術的研究變得越來越重要。



圖一、各種分離程序之能源需求(Zhao, 2011)

## 貳、材料及方法

### 一、非對稱膜之製備

將CA 高分子粉末，以電子天秤稱取適當重量後放置於血清瓶內，加入溶劑 N-甲基 2-吡咯酮 ( N-methy-2-pyrrolidinone ， NMP ， CH<sub>3</sub>NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CO )，及丙酮形成混合溶液，並以磁石攪拌器充分攪拌 48 小時，使高分子完全溶解後，靜置 1 小時待鑄膜液中氣泡完全去除。

利用濕式相轉換法製備膜之前，先將玻璃板洗淨並以去離子水沖洗，水分擦拭乾淨後，將鑄膜液適量倒置玻璃上，以刮膜刀塗佈一層均勻且不同厚度於玻璃上，立即將整塊玻璃浸入去離子水中，使CA高分子鑄膜液和去離子水相交換而固化成非對稱膜，之後脫離玻璃而懸浮於去離子水中，將此膜浸泡在去離子水中一天，確保膜中溶劑已全部排除，取出放置於空氣中乾燥，之後將膜於真空烘箱

放置48小時使水分去除。製備之CA膜特性如表一所示。

表一、CA平板膜特性

Parameter	Interval of values
Membrane material	cellulose acetate
Solvent	NMP
Coagulate solution	water
Surface contact area, m <sup>2</sup>	0.0072
Membrane thickness, μm	17

### 二、實驗流程

架設平板膜測試系統如圖二所示，平板模組採用壓克力所組成，膜有效面積為 280 mm\*240 mm，高分子薄膜以不銹鋼網支撐(如圖三所示)。操作過程控制流量與溫度，經由pump的輸送，以逆向流的方式進入FO模組再流回循環水槽，吸引溶液的通量以電子天平量測並連線記錄，並量測進料端及吸引溶液之電導度以計算鹽阻率。

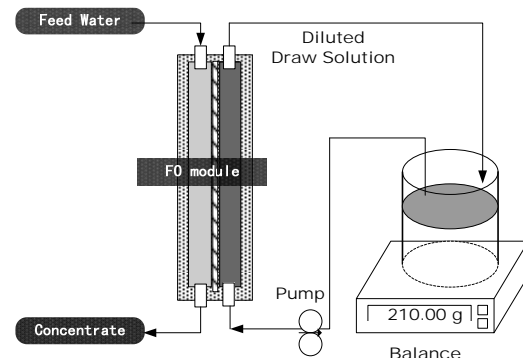
$$R_E = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\%$$

其中:

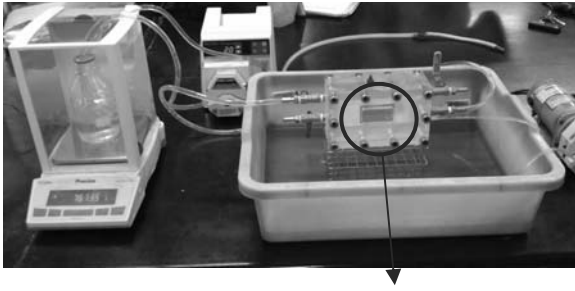
R<sub>E</sub>: 鹽阻率(%)

C<sub>f</sub>: 進料 NaCl 濃度(wt%)

C<sub>p</sub>: 滲透液 NaCl 濃度(wt%)



圖二 平板式 FO 測試設備圖

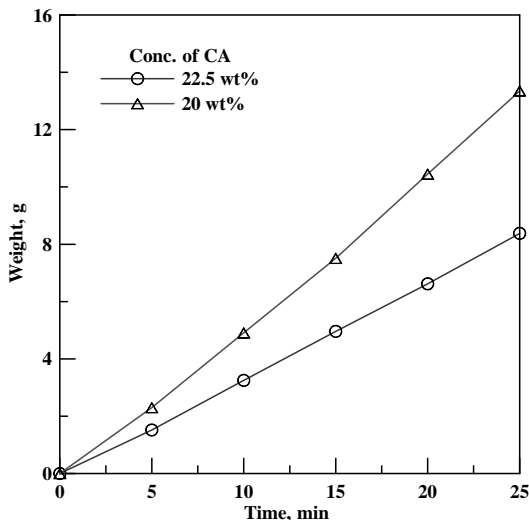


圖三、實驗模組照片(不銹鋼網)

## 參、結果及討論

### 一、高分子濃度之影響

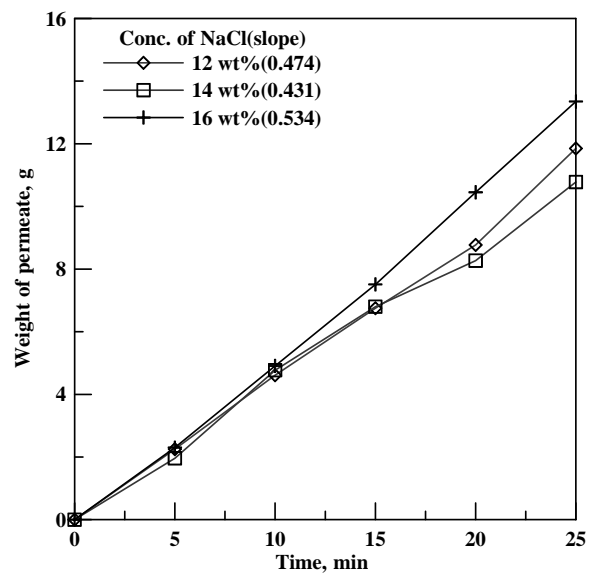
高分子濃度在製備薄膜的過程中極為重要，高濃度之高分子所製備之薄膜孔隙度小，膜之機械強度好但是滲透率低，因此為了解高分子濃度之薄膜對直接滲透式水透過率之影響，研究結果如圖四所示，20wt%之CA薄膜滲透效率較22.5wt%佳，經計算後得到最佳條件下水的滲透速率為 $16.76\text{kg}/\text{m}^2\text{hr}$ 。本研究未繼續製備較低濃度之CA膜，原因是經測試後低於20 wt%之CA薄膜機械強度皆不佳，無法耐受直接滲透式系統，因此建議20 wt%之CA為最佳操作條件。



圖四、高分子濃度對滲透效率之影響

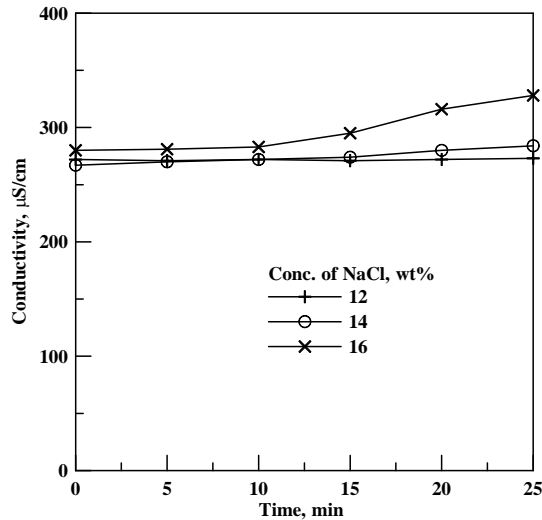
### 二、鹽水溶液濃度的影響

為了解吸引溶液濃度對水之滲透效率影響，本研究測試三種鹽水濃度，分別為12、14及16 wt%以進行直接滲透測試，本實驗使用之薄膜為自行製備之20 wt%CA膜，進料水為RO水。實驗結果發現水的滲透會隨者操作時間而增加(如圖五所示)，每段時間之滲透率非常穩定，並以此結果之斜率可計算出水之滲透率。因為直接滲透法的驅動力為薄膜兩側之滲透壓差，因此滲透效果會隨鹽水之濃度上升而提高。



圖五、鹽溶液濃度對滲透效率的影響

水分子因為滲透壓差而透過直接滲透式薄膜至吸引溶液端，為了解是否有離子反向透過薄膜而進入進料水端，因此以電導度計測試進料端之電導度，結果如圖六所示，除了鹽水16wt%之電導度有微幅上升(鹽阻率為89.2%)之外，另外兩組實驗之離子皆無反滲透至進料端，鹽阻率皆超過99.9%，也表示自行製備之薄膜之孔洞小於鈉離子。



圖六、鹽溶液濃度對滲透端電導度的影響

### 三、結論

自行製備之CA非對稱親水膜於直接滲透式系統確實有效將水回收，CA製備之高分子濃度及吸引溶液濃度皆對水之滲透率有很大的影響。20 wt%之CA平板膜在16 wt%鹽水下操作直接滲透系統水的滲透速率為16.76kg/m<sup>2</sup>hr，顯示此節能又簡便之水回收技術值得繼續發展。

### 肆、謝辭

感謝國科會專題研究計畫：101-2221-E-041-002 提供研究經費

### 參考文獻

- Gleick P. H. , Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, 2(1996) 817-823
- Lee K.L., Baker R.W., Lonsdale H.K., Membranes for power generation by pressure-retarded osmosis, J. Membr. Sci. 8 (1981) 141-171.
- Madaeni S.S., Khodabakhshi A., Dehydration

- of alcohols using osmotic concentration-Dehydration of aqueous glycerol solution, J. Food Eng. 86 (2008)49-54.
- Martinetti C.R., Childress A.E., Cath T.Y., High recovery of concentrated RO brines using forward osmosis and membrane distillation, J. Membr. Sci. 331 (2009) 31-39
- McGinnis R.L., Elimelech M., Energy requirements of ammonia-carbon dioxide forward osmosis desalination, Desalination 207 (2007) 370-382.
- Mi B., Elimelech M., Chemical and physical aspects of organic fouling of forward osmosis membranes, J. Membr. Sci. 320 (2008) 292-302.
- Tang W., Ng H.Y., Concentration of brine by forward osmosis: Performance and influence of membrane structure, Desalination 224 (2008) 143-153.
- Wallace M., Cui Z., Hankins N.P., A thermodynamic benchmark for assessing an emergency drinking water device based on forward osmosis, Desalination 227 (2008) 34-45.
- Wang K.Y., Yang Q., Chung T.S., Rajagopalan R., Enhanced forward osmosis from chemically modified polybenzimidazole (PBI) nanofiltration hollow fiber membranes with a thin wall, Chem. Eng. Sci. 64 (2009) 1577-1584.
- Yang Q., Wang K.Y., Chung T.S., A novel dual-layer forward osmosis membrane for protein enrichment and concentration, Sep. Purif. Technol. 69 (2009)269-274.
- Zhao S., Zou L., Mulcahy D.. Effects of membrane orientation on process performance in forward osmosis applications Original Research Article, Journal of Membrane Science, 382(2011) 308-315

## Feasibility Study of Forward osmosis process

Bing Jang Liou Bo Yin Lin Yi Fong Lin Hung Yi Shen  
Jing Ruei Hsiung Cheng Lee Lai\*

Department of Environmental Engineering and Science,  
Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.

### Abstract

Forward osmosis (FO), has new applications in separation processes for wastewater treatment, food processing, and seawater/brackish water desalination. Through osmosis, water is transported from the mixed liquor across a hydrophilic membrane, and into a draw solution with a higher osmotic pressure.

The main objective of this project is to prepare some membranes suitable for the FO process applies in the water recovery technology, thin and high water-selective. Thin and porous cellulose acetate (CA) composite membranes will be prepared. By conducting the batch FO process, the water flux and salt rejection for the prepared membrane were measured. It was found that the investigation of forward osmosis by 20 wt% CA membrane water flux was  $16.76\text{kg/m}^2\text{hr}$ .

**Key words: Forward osmosis; cellulose acetate; water recovery**

---

\*Correspondence: Development of Recreation and Health-care Management, Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.

Tel: +886-6-2664699

Fax: +886-6-2669090

E-mail: clai23@mail.chna.edu.tw