

# 無機離子於NF薄膜之傳輸與分離成效的研究

陳柔閔、柯雅雯

E-mail: 9221183@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

中文摘要 本實驗在無濃度極化的情況下操作，在不同的進流濃度、操作壓力、掃流速度下，探討單一電解質系統與雙電解質系統，其分離成效與傳輸、去除機制的情形。在本研究操作條件下，NF-70薄膜對於Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>之去除率可高達90 %、99 %、90 %、99 %。薄膜表面帶有電荷，不論在單一或雙電解質系統中，若提高自身濃度，則皆會影響並降低自身離子的去除率。若是雙電解質系統中，背景離子濃度的增加也會造成目標離子去除率的降低。所以進流濃度的改變，將會影響去除率與清水通量。在不同的溶質中，目標離子的去除率會受到背景離子價數、背景離子濃度與自身濃度的影響。本研究以Dey等人(Dey et al. 2000)修改後的模式為基礎，來定量描述去除率與穩態清水通量間的關係。此模式可成功地應用在本研究的單一電解質或雙電解質系統中，並且可以預測Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>之去除率。關鍵字：薄膜；雙電解質；濃度極化

關鍵詞：薄膜；雙電解質；濃度極化

## 目錄

目錄封面內頁 簽名頁 授權書	iii	中文摘要	v	英文摘要	v
要	vi	誌謝	vii	目錄	viii
錄	viii	圖目錄	xi	表目錄	xii
錄	xiii	第一章 前言	01	1.1研究緣起	01
起	01	1.2研究目的	02	1.3研究內容	02
容	02	第二章 文獻回顧	03	2.1薄膜的基本性質與分類	03
類	03	2.1.1薄膜的材質	04	2.1.2薄膜操作的分類	05
薄膜的組件	07	2.1.4薄膜操作參數	09	2.2 NF薄膜的分離原理與傳輸機制	11
制	11	2.3 NF薄膜對自來水中污染物質的去除	13	2.3.1有機性污染物的去除	13
除	13	2.3.2單一電解質溶液	16	2.3.3混合電解質溶液	16
液	16	2.4薄膜的清水通量衰減與分離成效的預測模式	17	2.4.1薄膜的阻塞	17
塞	17	2.4.2阻塞機制對清水通量的影響	17	2.4.3溶質傳輸與分離成效的預測模式	19
式	19	第三章 實驗方法及設備	26	3.1研究流程	26
設備與材料	27	3.2.1實驗裝置	27	3.2.2所使用的薄膜種類	31
類	31	3.2.3進流液的選擇	32	3.3新NF薄膜的預備試驗	32
32	32	3.4試驗步驟	33	3.5分析方法	35
度	35	3.5.2陽離子之分析	35	3.5.3陰離子之分析	36
析	36	3.5.3.1氯離子	36	3.5.3.2硫酸根離子	37
3.5.3.3以IC檢測	37	第四章 結果與討論	39	4.1操作條件對單一溶質之處理成效的影響	39
成效的影響	39	4.1.1操作壓力的影響	39	4.1.2掃流速度的影響	43
4.1.3進流濃度的影響	47	4.2操作條件對雙溶質系統之處理成效的影響	51	4.3不同背景離子對去除率的影響	58
子對去除率的影響	58	4.3.1單一電解質溶液	58	4.3.2雙電解質溶液	61
液	61	4.4分離成效之預測模式的建立與驗證	66	第五章 結論與建議	75
議	75	參考文獻	77	圖目錄	77
圖	08	圖2.1 各類薄膜操作組件示意圖	18	圖2.2 濃度極化層與溶質傳輸示意圖	18
圖	19	圖3.1 研究流程	26	圖3.2 本研究的批次式循環薄膜試驗設備	30
圖4.1 NaCl溶液之清水通量與壓力的關係	40	圖4.2 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液之清水通量與壓力的關係	40	圖4.3 CaCl <sub>2</sub> 溶液之清水通量與壓力的關係	41
CaCl <sub>2</sub> 溶液之清水通量與壓力的關係	41	圖4.4 NaCl溶液之去除率與壓力的關係	42	圖4.5 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液之去除率與壓力的關係	42
圖4.6 CaCl <sub>2</sub> 溶液之去除率與壓力的關係	43	圖4.7 NaCl溶液之掃流速度與清水通量的關係	44	圖4.8 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液之掃流速度與清水通量的關係	44
圖4.9 CaCl <sub>2</sub> 溶液之掃流速度與清水通量的關係	45	圖4.10 NaCl溶液之掃流速度與去除率的關係	45	圖4.11 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液之掃流速度與去除率的關係	46
圖4.12 CaCl <sub>2</sub> 溶液之掃流速度與去除率的關係	46	圖4.13 NaCl溶液之進流濃度與清水通量的			

關係-----	48	圖4.14 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液之進流濃度與清水通量的關係-----	48	圖4.15 CaCl <sub>2</sub> 溶液之進流濃度與清水通量的關係-----
係-----	49	圖4.16 NaCl溶液之進流濃度與去除率的關係-----	49	圖4.17 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液之進流濃度與去除率的關係-----
係-----	50	圖4.18 CaCl <sub>2</sub> 溶液之進流濃度與去除率的關係-----	50	圖4.19 NaCl/Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液之清水通量與壓力的關係-----
係-----	52	圖4.20 NaCl/CaCl <sub>2</sub> 溶液之清水通量與壓力的關係-----	53	圖4.21 Sol. 中離子去除率與壓力的關係-----
係-----	54	圖4.22 Sol. 中離子去除率與壓力的關係-----	55	圖4.23 Sol. 中離子去除率與壓力的關係-----
係-----	55	圖4.24 Sol. 中離子去除率與壓力的關係-----	56	圖4.25 Sol. 中離子去除率與壓力的關係-----
係-----	57	圖4.26 Sol. 中離子去除率與壓力的關係-----	57	圖4.27 在NaCl與Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 的單一溶解質中，其Na <sup>+</sup> 的去除率的結果比較-----
結果比較-----	59	圖4.28 在NaCl與CaCl <sub>2</sub> 的單一電解質中，其Cl <sup>-</sup> 的去除率的結果比較-----	60	圖4.29 CaSO <sub>4</sub> 溶液之離子去除率與壓力的關係-----
60	圖4.30 以模式模擬NaCl之Cl <sup>-</sup> 去除率與清水通量的關係-----	69	圖4.31 以模式模擬CaCl <sub>2</sub> 之Cl <sup>-</sup> 去除率與清水通量的關係-----	70
圖4.32 以模式模擬Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 之SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 去除率與清水通量的關係-----	70	圖4.33 以模式模擬NaCl/Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 之Cl <sup>-</sup> 去除率與清水通量的關係-----	71	圖4.34 以模式模擬NaCl/CaCl <sub>2</sub> 之Cl <sup>-</sup> 去除率與清水通量的關係-----
71	圖4.35 比較Sol. 之離子去除率的實驗值與模式預測值-----	72	圖4.36 模式模擬Sol. 之離子去除率的實驗值與模式預測值-----	73
表目錄	表2.1 各類薄膜的適用操作特性及去除範圍表-----	06	表2.2 整理NF薄膜去除DBPFP的研究結果-----	14
表2.3 各參數對薄膜移除THMFP的影響-----	15	表2.4 文獻中相關模式的整理-----	24	表3.1 試驗所用NF薄膜之基本資料-----
31	表3.1 本研究的試驗設計-----	34	表4.1 雙溶質系統的濃度(molar fraction)配比與代號說明-----	52
表4.2 比較在不同溶液中Cl <sup>-</sup> 的去除率-----	61	表4.3 比較在不同溶液中SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 的去除率-----	63	表4.4 比較在不同溶液中Na <sup>+</sup> 的去除率-----
63	表4.5 比較在不同溶液中Ca <sup>2+</sup> 的去除率-----	65	表4.6 各溶質系統的 與 ' 值-----	68
66	表4.7 雙電解質系統之離子去除率整理-----	74		

## 參考文獻

- 參考文獻？環保署研究計畫，「水源鹽化對加氯消毒副產物生成之影響與改善對策及研究」期末報告，計畫主持人:蔣本基教授，台灣大學環境工程學研究所，計畫編號:EPA-89-U3J1-03-003，民國89年7月。？杜亮明，「薄膜程序應用於淨水之探討」，碩士論文，國立台灣大學環境工程學研究所，台北，民國88年6月。？國科會專題研究計畫，「前處理對NF薄膜程序影響之研究」，計畫主持人:葉宣顯教授，成功大學環境工程學系，計畫編號:NSC 88-2211-E-006-023，民國88年7月。？台灣省自來水公司專案計畫，「澄清湖高級淨水處理模型廠試驗研究」(第一年)，計畫主持人:葉宣顯教授，成功大學環境工程學系，民國88年8月。？高山鎮，「薄膜阻塞控制之研究」，碩士論文，國立成功大學環境工程學研所，民國89年6月。？國科會專題研究計畫，「NF薄膜程序應用於淨水處理時的阻塞行為與分離成效之研究」，計畫主持人:柯雅雯教授，大葉大學環境工程學系，計畫編號:NSC，民國90年8月。？郭文正與曾添文，「薄膜分離」，高立圖書有限公司，民國77年1月。？Ahn, K.-H., Song, K.-G., Cha, H.-Y. and Yeom, I.-T., "Removal of ions in nickel electroplating rinse water using low-pressure nanofiltration", *Desalination*, Vol.122, pp.77-84, 1999.？Alborzfar, M., Jonsson, G., and Gron, C., "Removal of natural organic matter from two types of humic ground waters by nanofiltration", *Water Research*, Vol.32, pp.2983-2994, 1998.？Allgeier, S. C. and Summers, R. S., "Evaluating NF for DBP control with the RBSMT", *Journal AWWA*, pp.87-98, 1995.？Anne, C. O., Trebouet, D., Jaouen, P. and Quemeneur, F., "Nanofiltration of seawater: fractionation of mono- and multi-valent cations", *Desalination*, Vol.140, pp.67-77, 2001.？AWWA Membrane Technology Research Committee, "Committee report: membrane processes", *Journal of American Water Works Association*, 1998.？Bohdziewicz, J., Bodzek, M. and Wasik, E., "The application of reverse osmosis and nanofiltration to the removal of nitrates from groundwater", *Desalination*, Vol.121, pp.139-147, 1999.？Bowen, W. R. and Mohammad, A. W., "A theoretical basis for specifying nanofiltration membranes — dye/salt/water streams", *Desalination*, Vol.117, pp.257-264, 1998.？Boussahel, R., Bouland, S., Moussaoui, K. M. and Montiel, A., "Removal of pesticide residues in water using the nanofiltration process", *Desalination*, Vol.132, pp.205-209, 2000.？van der Bruggen, B. and Vandecasteele, C., "Distillation vs. membrane filtration: overview of process evolutions in seawater desalination", *Desalination*, Vol.143, pp.207-218, 2002.？van der Bruggen, B., Schaep, J., Wilms, D. and Vandecasteele, C., "Influence of molecular size, polarity and charge on the retention of organic molecules by nanofiltration", *Journal of Membrane Science*, Vol.156, pp.29-41, 1999.？Bowen, W. R. and Mohammad, A. W., "A theoretical basis for specifying nanofiltration membranes-dye/salt/water streams", *Desalination*, Vol.117, pp.257-264, 1998.？Clark, S., et al., "Low-cost membrane filtration in offing", *Waterworld News*, Jan./Feb, pp.17-18, 1992.？Conlon, W. J. and McClellan, S. A., "Membrane softening: a treatment process comes of age", *Journal of American Water Works Association*, Vol.81, pp.47-51, 1989.？Deshmukh, S. S. and Amy, E. C., "Zeta potential of commercial RO membranes: influence of source water type and chemistry", *Desalination*, Vol.140, pp.87-95, 2001.？Dey, T. K., Ramachandran, V. and Misra, B. M., "Selectivity of anionic species in binary mixed electrolyte systems for nanofiltration membranes", *Desalination*, Vol.127, pp.165-175, 2000.？Donnan, F. G., "Theory of membrane equilibria and membrane potentials in the presence of non-dialysing electrolytes. A Contribution to physical-chemical physiology", *Journal of Membrane Science*, Vol.100, pp.45-55, 1995.？Escobar, I. C., Hong, S., and Randall, A. A., "Removal of assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon by reverse osmosis and nanofiltration membranes", *Journal of Membrane Science*, Vol.175, pp.1-17, 2000.？Grib, H., Persin, M., Gavach, C., Piron, D. L., Sandeaux, J. and Mameri, N., "Amino acid retention with alumina nanofiltration membrane", *Journal of Membrane*

Science, Vol.172, pp.9-17, 2000. ? Graba, Y., Taha, S. Gondrexon, N., Cabon, J. and Dorange, G., " Mechanisms involved in cadmium salts transport through a nanofiltration membrane:characterization and distribution " , Journal of Membrane Science, Vol.168, pp.135-141, 2000. ? Kiso, Y., Nishimura, Y., Kitao, T., and Nishimura, K., " Rejection properties of non-phenylic pesticides with nanofiltration membranes " , Journal of Membrane Science, Vol.171, pp.229-237, 2000. ? Kiso, Y., Kon, T., Kitao, T., and Nishimura, K., " Rejection properties of alkyl phthalates with nanofiltration membranes " , Journal of Membrane Science, Vol.182, pp.205-214, 2001a. ? Kiso, Y., Sugiura, Y., Kitao, T., and Nishimura, K., " Effects of hydrophobicity and molecular size on rejection of aromatic pesticides with nanofiltration membranes " , Journal of Membrane Science, Vol.192, pp.1-10, 2001b. ? Kosutic, K. and Kunst, B., " Removal of organics from aqueous solutions by commercial RO and NF membranes of characterized porosities " , Desalination, Vol.142 pp.47-56, 2002. ? Koyuncu, I., " Reactive dye removal in dye/salt mixtures bynanofiltration membranes containing vinylsulphone dyes:Effects of feed concentration and cross flow velocity " , Desalination, Vol.143, pp.243-253, 2002. ? Lebrun, R. E. and Xu, Y., " Dynamic characterization of nanofiltration and reverse osmosis membranes " , Separation Science and Technology, Vol.34, pp.1629-1641, 1999. ? Marianne N., Lena, K., and Susana, L., " Fouling and retention of nanofiltration membranes " , Journal of Membrane Science, Vol.98, pp.249-262, 1995. ? Mehiguene, K. Gerba, Y., Taha, S., Gondrexon, N. and Dorange, G., " Influence of operating conditions on the retention of copper and cadmium in aqueous solutions by nanofiltration:experimental results and modeling " , Separation and Purification Technology, Vol.15, pp.181-187, 1999. ? Mehiguene, K., Taha, S., Gondrexon, N., Cabon, J. and Dorange, G., " Copper transfer modeling through a nanofiltration membrane in the case of ternary aqueous solution " , Desalination, Vol.127, pp.135-143, 2000. ? Pontalier, P.-Y., Ismail, A. and Ghou, M., " Mechanisms for the selective rejection of solutes in nanofiltration membranes " , Separation and Purification Technology, Vol.12, pp.175-181, 1997. ? Ratanatamskul, C., Urase, T. and Yamamoto, K., " Description of behavior in rejection of pollutants in ultra low pressure nanofiltration " , Wat. Sci. Tech., Vol.38, pp.453-462, 1998. ? Reiss, C. R., Taylor, J. S., and Robert, C., " Surface water treatment using nanofiltration pilot testing results and design considerations " , Desalination, Vol.125, pp.97-112, 1999. ? Shaalan, H. F., Sorour, M. H. and Tewfik, S. R., " Simulation and optimization of a membrane system for chromium recovery from tanning wastes " , Desalination, Vol.141, pp.315-324, 2001. ? Siddiqui, M., Amy, G., Ryan, J. and Odem, W., " Membranes for the contril of natural organic matter from surface wares " , Water Research, Vol.34, pp.3355-3370, 2000. ? Tang, C. and Chen, V., " Nanofiltration of textile wastewater for water reuse " , Desalination, Vol.143, pp.11-20, 2002. ? Tan, L. and Sudak, R. G., " Removing color from a groundwater source " , Journal of American Water Works Association, Vol.84, pp.79-87, 1992. ? Taylor, J., et al., " Applying membrane processes to groundwater sources for trihalomethane precursor control " , Journal of American Water Works Association, Vol.79, pp.72, 1987. ? Visser, T. J. K., Modise, S. J., Krieg, H. M. and Keizer, K., " The removal of acid sulphate pollution by nanofiltration " , Desalination, Vol.140, pp.79-86, 2001. ? Vrijenhoek, E. M. and Waypa, J. J., " Arsenic removal from drinking water by a loose nanofiltration membrane " , Desalination, Vol.130, pp.265-277, 2000. ? Xu, Y. and Lebrum, R.E., " Comparison of nanofiltration properties of two membranes using electrolyte and non-electrolyte solutes " , Desalination, Vol.122, pp.95-116, 1999. ? Xu, X. and Spencer, H. G., " Transport of electrolytes through a weak acid nanofiltration membrane:Effects of flux and crossflow velocity interpreted using a fine-porous membrane model " , Desalination, Vol.113, pp.85-93, 1997. ? Yang, J.-Z., " Transport properties in the nanofiltration of NaNO<sub>3</sub>-water solutions with a weak acid polyelectrolyte membrane " , Journal of Membrane Science, Vol.198, pp.145-148, 2002.