

探討電透析技術於海水淡化處理的特點及其處理效能

章日行¹、張淑貞²

¹朝陽科技大學環境工程與管理系助理教授

²朝陽科技大學環境工程與管理系研究生

摘要

自然的循環及過濾方式讓生存在陸地上的生物得到生存所需的乾淨的淡水，但自然的循環速率較慢，不及人類使用的需求量，故需人工的方式，開發及尋找新的水源來解決缺水的問題。眾多方法之中，將海水經過淡化的處理，提供人類生活所需，廣大的海水就可成為人類最大的蓄水池，此法似乎為許多缺水地區獲得淡水的主要途徑。其不用擔心水源的優點，是最直接的解決缺水的特點。海水淡化方法的研究，不斷的被進行著，其中電透析法的特點是不需使用熱源，可以在任何有電源的地點使用，而且其可選擇性的排除無機物保留有機物的特性，被廣泛應用在人類飲用水的水質提昇方面。

海水中 Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} 等離子，如果無法有效從水中去除，即無法作為工業或生活使用，本研究係考量電透析法可以針對離子的成分，選用專用的離子薄膜來加以去除的特性，以海水淡化的離子去除效率為研究對象，並且比較電透析法與其他海水淡化法的差異，包括成本、產量以及處理水質。經過實際以電透析法應用在海水淡化的實驗發現，其離子去除效率可達 80% 以上，水質可符合一般自來水使用標準。本研究以此為範例，作為將來工業界考慮使用電透析法技術，來回收工業用水。

關鍵詞：海水淡化、電透析法、離子、過濾、水污染

一、海水淡化的介紹：

自然的循環及過濾方式讓生存在陸地上的生物得到生存所需的乾淨的淡水，但自然的循環速率較慢，不及人類使用的需求量，故需用人工的方式，開發及尋找新的水源來解決缺水的問題。眾多方法之中，將海水經過淡化的處理，提供人類生活所需，廣大的海水就可成為人類最大的蓄水池，此法似乎為許多缺水地區獲得淡水的主要途徑。其不用擔心水源的優點，是最直接的解決缺水的特點。使用海水淡化的方法，可以將鹹水、海水、鹽水水質淨化，達到自來水水質供應標準。海水淡化（Sea Water Desalination）之方法，由其原理可分為涉及水的相變化（Phase Transformation）與不涉及水的相變化（Non-Phase Transformation）兩大類。根據國際淡化協會（International Desalination Association, IDA）〔1〕之統計資料，截至1996年，全球海水及鹹井水淡化廠之總容量日產100立方米（100 CMD）以上機組之製成水產量來統計，產量最高為沙烏地阿拉伯之淡化水產量，約525萬CMD，約佔全世界的25.9%，其次為美國之淡化水產量約309萬CMD，約佔全世界的15.2%，再其次為阿拉伯聯合大公國之淡化水產量約216萬CMD，約佔全世界的10.7%。

在1992年IDA Desalting Plants Inventory Report. NO.12〔2〕中指出，目前世界上常用的幾種海水淡化方法的佔有率如表1所示，其中多段閃化蒸餾發展最早，市佔率最高，近年來逆滲透膜技術的突破，使得逆滲透方法被大量的使用，市佔率有逐步攀升的趨勢。

表1 海水淡化法的世界佔有率〔3〕〔4〕

各種海水淡化法之世界市場佔有率				
方法	廠數	機組數	容量 m ³ /日	佔有率，%
多段閃化蒸餾	567	1113	8361714	51.50
逆滲透	3462	5232	5339368	32.89
電透析	773	1165	898397	5.53
多效應蒸餾	345	564	725317	4.47
蒸氣壓縮蒸餾	478	766	606155	3.73
其他	113	137	305131	1.87
合計	5738	9014	16236082	100.00

全球淡化廠以每年約2500萬CMD（噸/日）之成長率持續增加，尤其是中東阿拉伯灣地區，雨量稀少，氣候乾燥，海水淡化已成為該地區之主要水源。若以世界各海水淡化廠設置數量所佔之比例，分別如表2：與生產產量相比較可得知，沙烏地阿拉伯之海水淡化廠設置雖只佔2%，而其產量確佔全世界25.9%，由此得知其單位產能甚高；相對日本的海水淡化廠，確均屬於區域性的小型機種。

表2 世界各海水淡化廠設置所佔之比例〔3〕〔4〕

世界各海水淡化廠設置所佔之比例			
國家	百分比	國家	百分比
日本	36%	美國	24%
法國	11%	義大利	7%
蘇聯	7%	英國	6%
德國	3%	荷蘭	2%
沙烏地阿拉伯	2%	其他	7%

目前全世界不論其所使用的原水來源係海水、河水或廢水，統計單位產量在 100CMD 以上機組，目前仍以多級閃化蒸餾式淡化所佔比例最高，但經由自 1966 年至 1995 年統計資料顯示，逆滲透式所佔比例有逐漸升高趨勢。其原因為逆滲透膜製作技術已有顯著改善、生產產量的增加及耗電量減小，因而使逆滲透式越來越受重視。

現行海水淡化製程，按是否涉及水的相變化之方法，分類如表 3：

表 3 海水淡化法的分類〔5〕

項次	主分類	細分類
1	無相變化	逆滲透式
2		電透析式
3	有相變化	薄膜蒸餾法
4		多級閃化蒸餾法
5		多效應蒸餾法
6		蒸氣壓縮蒸餾法
7		冷凍法
8		太陽能蒸發法
9		核能法

二、電透析法原理：

大多數溶於水中的無機物，可離解成離子。在處於離子化狀態的某物質體系內，如果插入正電極及負電極，並且通入直流電，則陽離子向陰極移動，陰離子向陽極移動。在這種作業模式下，如果能選擇性的將有機物質予以截留，使通過陽離子或陰離子的物質予以隔開，自然就可選擇性的分離陽離子或陰離子，或將各種離子與水進行分離。電透析離子交換薄膜技術的基本原理，就是將兩個離子交換薄膜間的電解質溶液通以電壓，陽離子會移動到陰極端，而陰離子會移動到陽極端，陽離子可透過陽離子交換薄膜，而陰離子則會被陽離子交換薄膜阻擋；相對的，陰離子透過陰離子交換薄膜，而陽離子則會被陰離子交換薄膜阻擋，如圖 1〔5〕所示。因為這種移動會在液體流通的管道上形成兩種形式，一是稀釋液管道(例如淡水)，含有較低離子濃度的電解溶質，而在另一個管道則是含有高離子濃度的電解溶質(例如海水)，利用這種方式，可將溶液中高濃度電解溶質及低濃度電解溶質加以分開，應用在海水淡化，就可將含鹽量較高的海水稀釋成為可供人類日常生活飲用的淡水。

電透析離子交換薄膜機組內部構造圖〔6〕〔7〕，可用圖 2 及圖 3 來加以表示。當控制流體的流速、施加的電壓等，就可以容易的控制或操作去鹽的百分比或者是濃縮液的濃度。

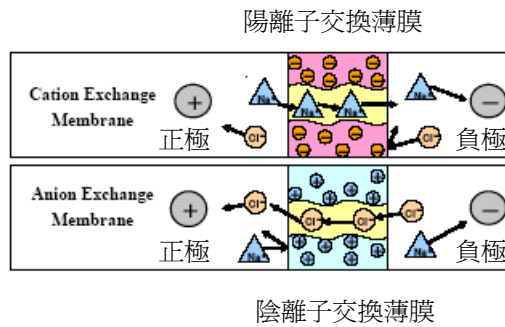


圖 1 離子交換薄膜示意圖〔5〕

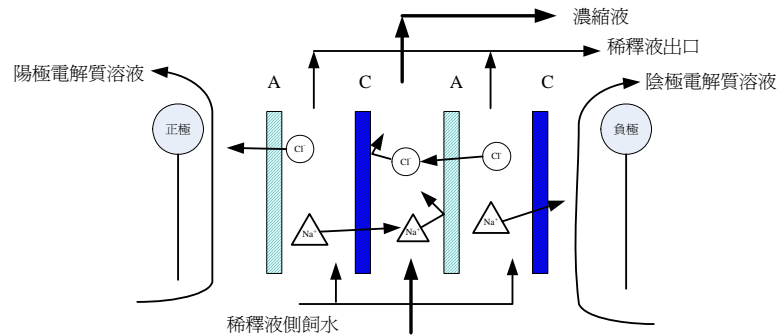


圖 2 電透析離子交換薄膜基本原理示意圖之一〔6〕

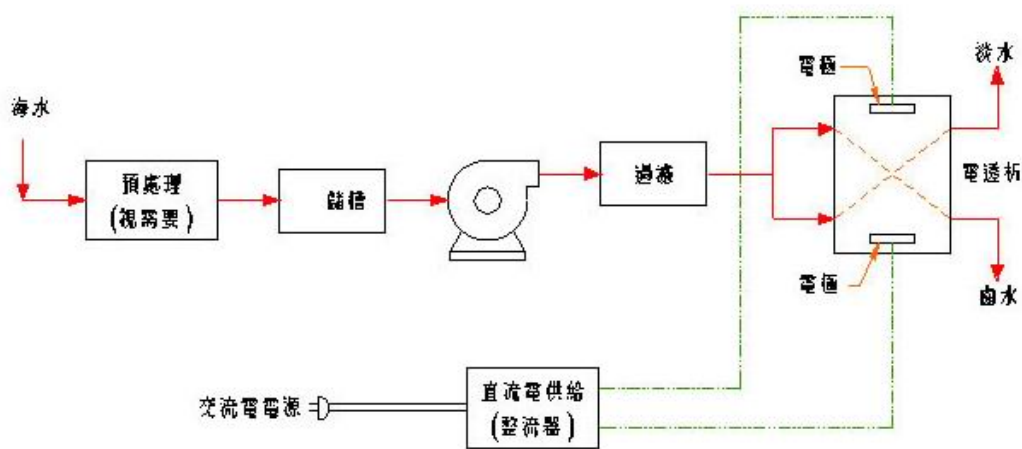


圖 3 電透析離子交換薄膜作業流程〔7〕

三、電透析法產量與應用：

電透析離子交換薄膜在最近這幾年廣受注目，因它具備有較節省能源並且在處理過程中不產生相的變化，離子交換薄膜技術有別於其他分離、濃縮或是去鹽技術，在未來許多的領域中，將會積極研發電透析離子交換薄膜的應用，目前，在商品上使用技術最成功、成熟的是自海水中生產各式的鹽製品。電透析法海水淡化廠在全世界國家或地區之產量上，至 1998 年之統計 (DESWARE, 2003)〔8〕，設廠產量在 100-60000 CMD 之間的總產量為 127 萬 CMD，佔全球淡化水產量之 5.63%，排名第三大。不過與第二名總產量 883 萬 CMD，佔全

球產量 39.12%之逆滲透法來比較的話，電透析法之產量還是少了很多。全世界採用電透析法的海水淡化廠，其設廠產能以介於 100-500CMD 之間的小型廠為主。

針對 EDR 技術而言，日本及歐美的電透析公司在水及純水處理的應用上已有相當多實績，除了用在水的淡化處理上，尚可用於無機酸、有機酸及重金屬的回收。雖然陰、陽離子交換膜的產品種類非常多，但電透析設備相對昂貴許多，因此在推廣上較為困難。中國大陸的電透析多用於水的淡化處理(即脫鹽)，尤其在鹹水淡化及河水、地下水與工業用水處理。在水的淡化處理領域上，中國大陸電透析設備的總處理水量佔了全球的一半，具有相當大的價格優勢。工研院環安中心〔9〕近年來改進大陸的電透析設備，並安裝全自動監控系統，在許多現場處理不同的水源，如河川水、高鹽度地下水、製程清洗水與廢水等，EDR 脫鹽的性能測試結果良好。

1. 使用率:

如以淡化製程方法為分類方式統計〔1〕〔2〕，全球淡化水產量中，以多級閃化蒸餾法所生產的淡化水總產量最高，為每天 977.5 萬立方公尺，佔全球淡化水產量之 48.1%。其次是以逆滲透法所生產的淡化水總產量佔居第二，為每天 729.3 萬立方公尺，佔全球淡化水產量之 35.9%。排名第三的是電透析法，為每天 116.5 萬立方公尺，佔全球淡化水產量之 5.7%。排名第四的是多效蒸餾法，產量為 81.9 萬 CMD，佔全球之 4.0%，排名第五的是蒸氣壓縮蒸餾法，產量為 78.6 萬 CMD，佔全球之 3.9%。將茲歸納如下：

表 4 各種淡化法的產量排行及產量百分比表造水率〔1〕〔2〕

淡化法	產量排行	產量百分比
多級閃化蒸餾法(MSF)	1	48.1%
逆滲透式(RO)	2	35.9%
電透析式(ED)	3	5.7%
多效蒸餾法(MED)	4	4.0%
蒸氣壓縮蒸餾法(VCD)	5	3.9%

造水率係指海水淡化廠所生產之淡水與飼入海水水量之百分比。各種海水淡化法一般之淡水造水率(如表 5)：

表 5 各種淡化方法的造水回收率〔3〕〔4〕

淡化法	造水率
多級閃化蒸餾法(MSF)	14%
多效蒸餾法(MED)	8.5%
蒸氣壓縮蒸餾法(VCD)	38%
逆滲透式(RO)	55%
電透析式(ED)	90%

2. 投資成本(Investment cost):

投資海水淡化廠所需成本主要分成三大類：

(1)建廠成本、(2)能源消耗成本、(3)操作與維護成本

根據在 1970 年代許多文獻的估算，對於應用於地下微鹹水以及海水的各種海水淡化方法投資成本的比較〔10〕〔11〕〔12〕，如表 6 所示：

表 6 各種海水淡化方法投資成本的比較

參考文獻		10	11	10	12	10	11
日產量	MGD	1.0	1.1	5.0	5.3	25.0	26.4
	M3/DAY	3,785	4,000	18,925	20,000	94,625	100,000
建廠成本 (\$/m ³ -day)							
海水	多級閃化蒸餾法 MSF	2,260	1,650-2,200	1,570	-	1,130	1,020-1,080
	垂直管蒸發器 VTE 蒸氣多效蒸餾法 MED	2,050	1,375	1,390	-	1,020	825
	逆滲透法 RO	1,290	1,130-1,650	1,165	1,120-1,275	-	870
微鹹水	逆滲透法 RO	388	360(註 1) -410(註 2)	260	-	220	240(註 1) -300(註 2)
	電透析法 ED	338(註 3) -447(註 4)	-	285(註 3) -390(註 4)	-	240(註 3) -330(註 4)	-

註 1: 3,600ppm TDS

註 2: 600ppm TDS

註 3: 2 stage-“easy” water

註 4: 4 stage-“difficult” water

3.能源消耗量:

達到海水淡化的功能，必須消耗能源來達成，蒸氣壓縮法、多效蒸餾法以及多級閃化蒸餾法的為了達到蒸餾的目的需要大量的熱能，逆滲透法以及電透析法不需要進行相變化，主要消耗電能，各種海水淡化製程能源需求表 7 所示：

表 7 各種海水淡化製程能源需求表

項次	海水淡化製程	總能源需求 kj/kg, (kwh/m ³)	
1	逆滲透法 (RO)	單一目的 95.0, (26.4)	附能量回收系統 65.0, (18.1)

2	電透析法 (ED)	單一目的 46.8-90, (13-25)	
3	蒸汽壓縮法 (VCD)	單一目的 80.0-110.0, (22.2-36.7)	
4	多效蒸餾法 (MED)	單一目的 256.9-368.9, (71.4-102.5)	雙重功能 120.2-163.8, (33.4-45.5)
5	多級閃化蒸餾法 (MSF)	單一目的 380.9, (105.8)	雙重功能 175.8, (48.8)

註 1: $1\text{kwh}/\text{m}^3 = 3.6\text{kJ}/\text{kg} = 0.864\text{ kcal}/\text{kg}$, $1\text{kwh} = 3.6 * 10^6\text{j}$, $1\text{kJ} = 0.24\text{ kcal}$

造水成本

根據在 1970 年代許多文獻的估算，對於應用於地下微鹹水以及海水的各種海水淡化方法所製造出的飲用水成本的比較〔11〕〔12〕，如表 8 所示：

表 8 單位造水成本

參考文獻		11	12	11	12
日產量	MGD	1	1.1	25	26.4
	M3/DAY	3785	4000	94625	100000
海水淡化技術	多級閃化蒸餾法 MSF	143	171	76	89
	垂直管蒸發器 VTE	138	-	70	-
	蒸氣多效蒸餾法 MED	-	151	-	74
	海水逆滲透法 SWRO	120	119	-	74
	微鹹水逆滲透法 BWRO	38	41-51	28	24-37
	微鹹水電透析法 BW-ED	26-35	-	20-26	-

由以上所列各種海水淡化技術的造水成本相比較，結果如下：

使用多級閃化蒸餾法約比其他方法的造水成本多出 20%。

使用垂直管蒸發器與蒸氣多效蒸餾法的造水成本大致相同。

逆滲透法與電透析法的造水成本大致相同。

四、電透析應用於海水淡化的實驗

4-1 試驗設備與材料

本研究所使用之市售商用薄膜其型號為：陽離子交換膜 (MA-7500)、陰離子交換膜 (MC-3475)，其各項目之基本數值如表 9 商用薄膜基本資料所示。系統所使用之離子交換膜主要嵌於電透析模組之間隔室內，其作用主要為吸附溶液中之陰、陽離子，以達到處理水純化之目的。

表 9 商用薄膜基本資料

項 目	陽離子交換膜 MA-7500	陰離子交換膜 MC-3475
Total Weight (oz./sq.yd.) (總重量)	11.43	3.46
Thickness (mm) (膜厚度)	0.53	0.38
% Moisture (濕潤度)	28.4	--
Total Capacity (meq./g.) (容量)	1.116	0.70
Area Resistance (ohm-cm ²) (電阻)		
1.0 N NaCl	4.72	8
0.1N NaCl	14.03	17
Water Permeability (cc/hr./ft @ 5psig) (水滲透性)	4.49	30
SybronTest Method		
Dye Test (乾燥後濕潤能力)	Passed	Passed

試驗中使用之設備包含有：直流電源供應器、供氣幫浦、抽水幫浦、導電度計、酸鹼度計、三用電錶、磁石攪拌器、天平、火焰式原子吸收光譜儀、去離子水製造機、烘箱等，其儀器製造商及型號例如表 10 所示。

表 10 試驗儀器設備製造商及型號

儀器名稱	製造商	儀器型號
直流電源供應器	捷翰科技有限公司	15H20D
供氣幫浦	弘宇儀器有限公司	DOA-P704-AA
抽水幫浦	Cole-Parmer	7524-40
導電度計	Suntex	SP-700
酸鹼度計	Suntex	SP-701
三用電錶	TES	TES-2801
磁石攪拌器	Corning	CP-420
天平	Precisa	3100C
天平	AND	ER-120A
火焰式原子吸收光譜儀	Varian	Varian 220
去離子水製造機	Millipore	SA-67120
烘箱	Deng Yng	DS-45

4-2 試驗模組設備

本研究之電透析試驗模組如圖 4 所示，模組內置有陽離子、陰離子交換膜，將電透析槽分隔為兩間隔室，左右兩旁為電極室，原水與濃縮水則分別以泵浦傳送至反應器內，依據各個停留時間進行採樣分析，則左右兩旁的電極室亦以另一泵浦穩定輸送電極液。圖 5 批次式電透析試驗膜組，其系統之間隔框架為壓克力板所製，尺寸為：長 32 cm×寬 14 cm×厚 2 cm，間隔框架內部廢水體積為 350 mL，所使用之極板以石墨板為陽極，其尺寸為長 32 cm×寬 14 cm×厚 0.5 cm，以不鏽鋼板為陰極，其尺寸為長 32 cm×寬 14 cm×厚 0.4 cm。

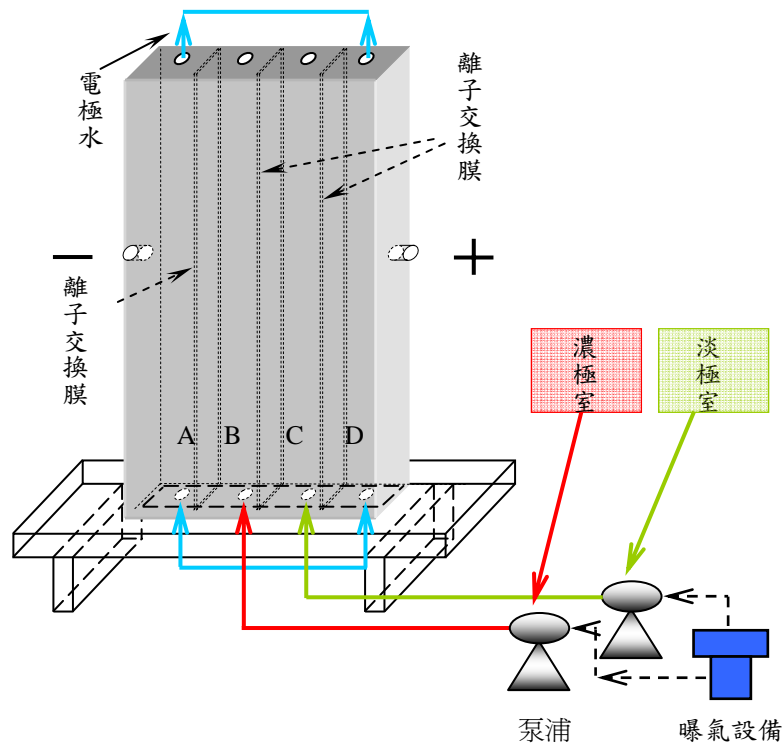


圖 4 批次式電透析試驗膜組

4-3 試驗流程與步驟

實驗參數設計:

輸入參數 (Input Response) :

固定因子：海水來源、電透析設備、導電度量測儀、PH 值量測儀

控制因子：通電電壓、作業時間

輸出參數(Output Response) :

離子去除效率、各極室 PH 值變化、各極室導電度變化、耗電流變化

以圖 4 模組進行，薄膜裝配位置為：+電壓 A,C,A,-電壓。

使用台中港所取得的海水稀釋 40 倍之後作為電透析實驗的原水，以泵浦傳送至電透析模組，同時作為淡極室與濃極室之原水溶液，並用 0.1 M NaCl 當作電解液。

供給之電壓梯度分別為：1.5 V/cm、2.5 V/cm、3.5 V/cm、4.5V/cm、5.5 V/cm、6.5 V/cm、7.5V/cm、8.5V/cm、9.5V/cm、10.5 V/cm。

原水處理時間為 8 min，並對淡極室、濃極室及電極室每分鐘進行取樣。

分別記錄不同工作電壓下之淡極室導電度與 pH 值、濃極室導電度與 pH 值、電極室導電度與 pH 值，以及計算出離子去除效率，進行實驗數據分析探討。

五、海水淡化實驗結果與討論

5-1 不同工作電壓操作下對離子去除效率的影響

為了解不同工作電壓下，淡極室內的離子去除效果，將離子去除效率定義為如下：

$$\text{離子去除效率} = \frac{(\text{原始溶液的導電度} - \text{反應後淡極室內溶液的導電度})}{\text{原始溶液的導電度}}$$

圖 5 表示離子去除效率與電壓梯度的關係，由圖可見，離子去除效率隨著電壓梯度的增高以及作業時間的延長而增加，在本處理系統的操作條件下，可以明顯看出，電壓梯度必須達到 7.5V/cm 以上，才會有足夠的離子驅動力，使得海水中離子去除效率達到 90% 左右，然而，當電壓梯度再增高到 10.5V/cm，並無法有效提升離子去除率。其原因可能因薄膜表面離子擴散速率無法隨電壓增高而加速，導致離子去除效率無法加快。將離子去除效率在第 8 分鐘的時候，不同的電壓梯度所對應的離子去除效率呈現如圖 6，可以發現在 7.5V/cm 以下，離子去除效率隨著電壓梯度增加而呈線性成長，而 7.5V/cm 以上，離子去除效率則維持在一定範圍內。

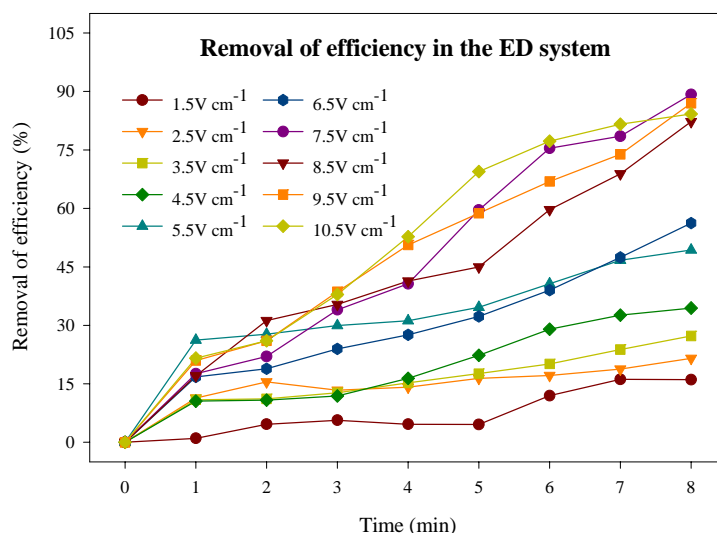


圖 5 ED 系統之離子去除效率(1.5V/cm~10.5V/cm)

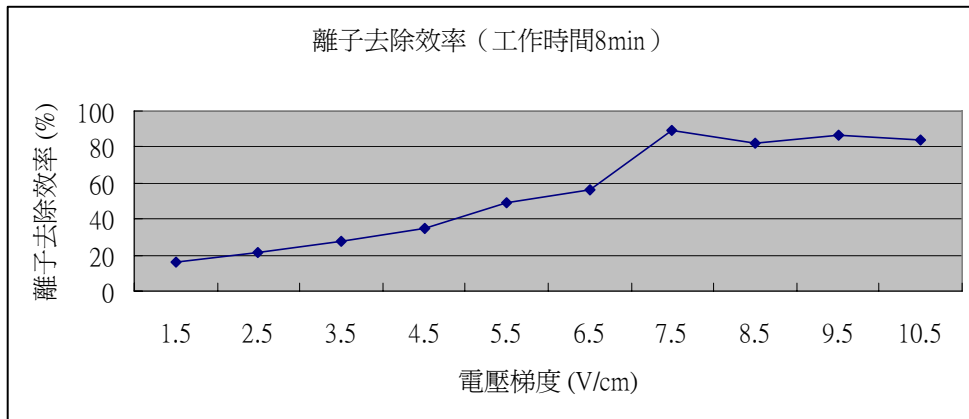


圖 6 不同電壓梯度所對應之離子去除效率

5-2 不同工作電壓操作下對各極室之 pH 值的變化

稀釋 40 倍的海水在未進入電透析系統之前的 pH 值為 6.51，同時分別進入淡極室以及濃極室的反應槽內，pH 值隨著作作用時間而變化，如圖 7 所示，在淡極室內的反應槽內，當電壓梯度在 1.5~5.5V/cm 之間時，pH 值並無明顯變化；當電壓梯度在 6.5~10.5V/cm 之間時，pH 值隨著工作時間增加而漸增，有微鹼化現象。如圖 8 所示，在濃極室內的反應槽內，當電壓梯度在 1.5~5.5V/cm 之間時，pH 值亦無明顯變化；當電壓梯度在 6.5~10.5V/cm 之間時，pH 值隨著工作時間增加而漸增，也有微鹼化現象，而且鹼化的程度，濃極室較淡極室為高。造成微鹼化的原因可能因薄膜表面上產生水解反應，特別是隨著海水中離子濃度降低，水分子容易受極化作用而分解，在不同薄膜表面產生 H⁺或 OH⁻，因此造成微鹼化的現象。值得重視的是，海水經處理後，其 pH 值尚介於中性區間，具有正面技術價值。

觀察電極室內 pH 值的變化，如圖 9 所示，當電壓梯度過小時(1.5~3.5V/cm)pH 值約在 6，並無明顯變化，到了電壓梯度在 4.5V 以上時，水溶液呈鹼性，此由於水分子在電極表面分解成 H⁺或 OH⁻，隨著電場作用，產生 H⁺的反應更為激烈，而漸漸使得 pH 值降低，當作用時間 6 分鐘以上即達穩定狀態。

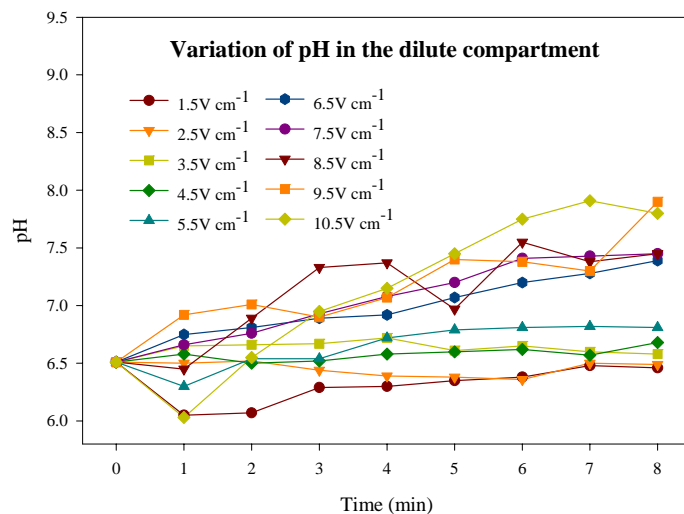


圖 7 淡極室內 pH 值變化(1.5V/cm~10.5V/cm)

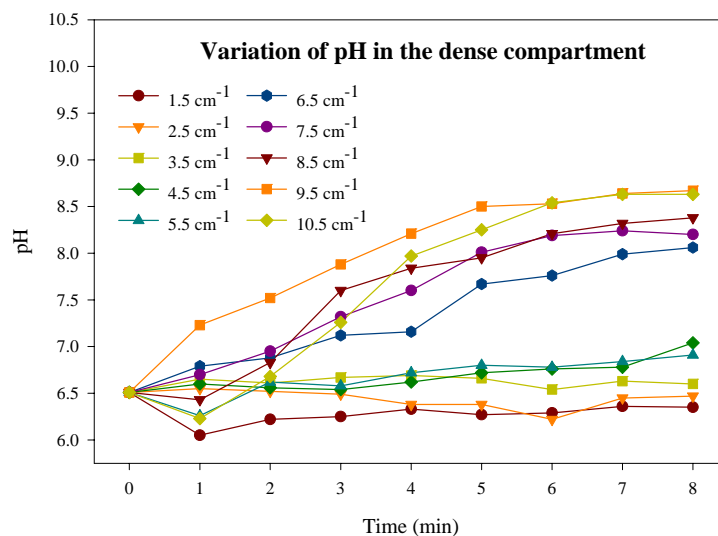


圖 8 濃極室內 pH 值變化(1.5V/cm~10.5V/cm)

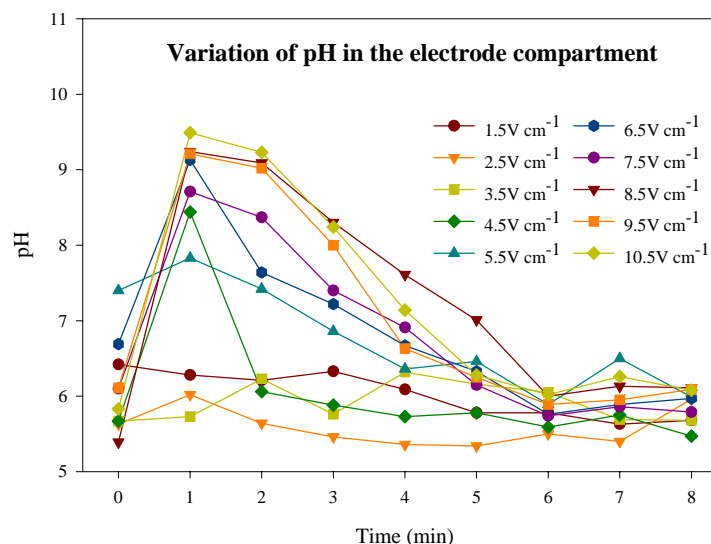


圖 9 電極室內 pH 值變化(1.5V/cm~10.5V/cm)

5-3 不同工作電壓操作下對淡濃極室之導電度值的變化

導電度值愈高表示溶液內金屬離子的含量愈高，所以可以用來量化此電透析模組的離子去除效率，稀釋 40 倍的海水作為原水溶液之原始導電度值為 $1940 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，如圖 10，在淡極室中的溶液隨著工作時間的增加，導電度有明顯的下降，相反的如圖 11，在濃極室中的溶液隨著工作時間的增加，導電度有明顯的上昇，電壓梯度愈大導電度變化的量愈大，將各電壓梯度的變化，在工作時間 8 分鐘之後的導電度值記錄於表 11 及繪製於圖 12，圖 12 中可以看出，淡極室與濃極室中的導電度值呈現相對的關係，淡極室內導電度愈少則濃極室中導電度愈高，並且若將濃極室與淡極室各電壓梯度之導電度值相加，可以得到大致相同的數值，此意味著淡極室內之正電離子會被陽離子交換膜吸附，在電場作用下使其穿透薄膜進入濃極室內。電壓梯度在 $1.5\sim 6.5\text{V}/\text{cm}$ 時，離子去除效率過低，批次實驗下作用 10 分鐘，淡極室內導電度值介於 $1700\sim 800 \mu\text{s}/\text{cm}$ ，無法達到自來水水質標準；電壓梯度介於 $7.5\sim 10.5\text{V}/\text{cm}$ ，作用

8 分鐘以後，導電度值介於 200~350 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之間，而一般自來水的導電度，介於 200~500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ [13]，兩者相當。

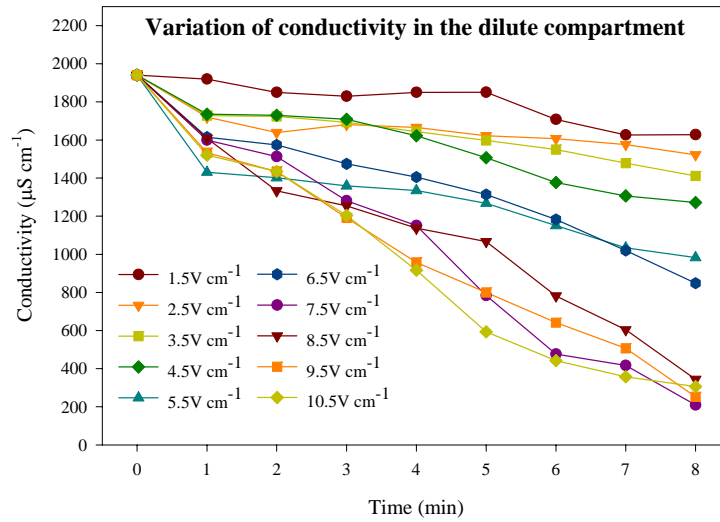


圖 10 淡極室內導電度變化(1.5V/cm~10.5V/cm)

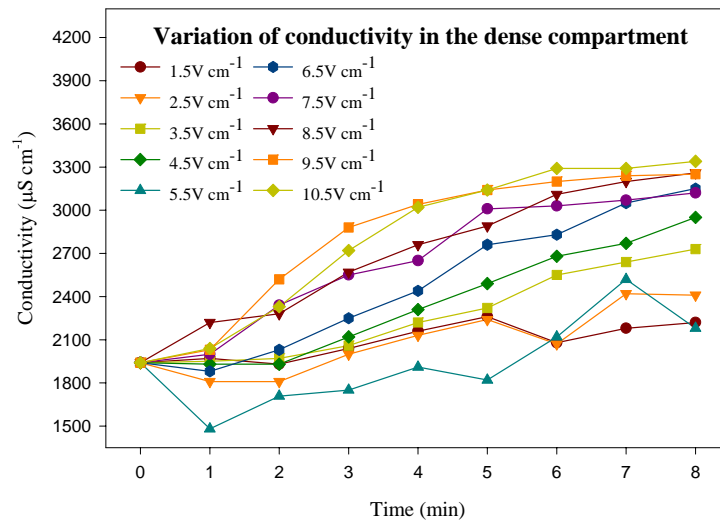


圖 11 濃極室內導電度變化(1.5V/cm~10.5V/cm)

表 11 作業 8 分鐘後各極室的導電度變化情形

電壓梯度(V/cm)	作業 8 分鐘後導電度值($\mu\text{s/cm}$)		
	淡極室	濃極室	淡極室+濃極室
1.5	1628	2220	3848
2.5	1522	2410	3932
3.5	1411	2730	4141
4.5	1272	2950	4222
5.5	983	2780	3763
6.5	849	3150	3999
7.5	209	3120	3329
8.5	344	3260	3604
9.5	253	3250	3503
10.5	306	3340	3646

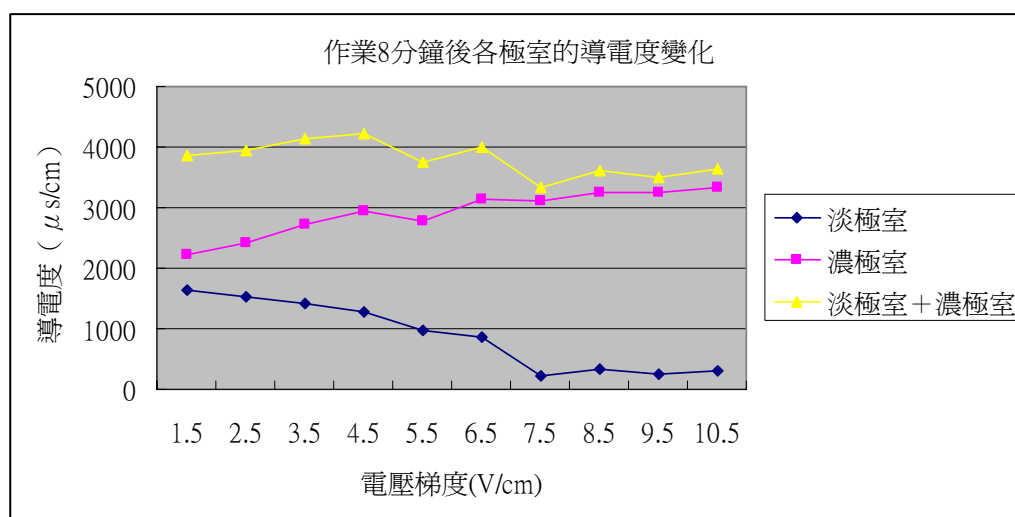


圖 12 作業 8 分鐘後淡極室及濃極室內導電度變化

5-4 不同工作電壓操作下的電流消耗

圖 13 為不同電壓梯度下，電透析系統之電流變化，由此得知初始電流與電壓梯度有呈現正比之關係，電壓梯度愈大造成溶液中自由電子遷移愈快，由於電子遷移速度愈快能產生較大之電流，故在電壓梯度 7.5V/cm 以上時，能達到較高的去除效率(80%以上)，此外，隨著工作時間增加，溶液中自由電子變少，離子移動速度會變慢，因此電流會隨著系統導電度值減少而下降。

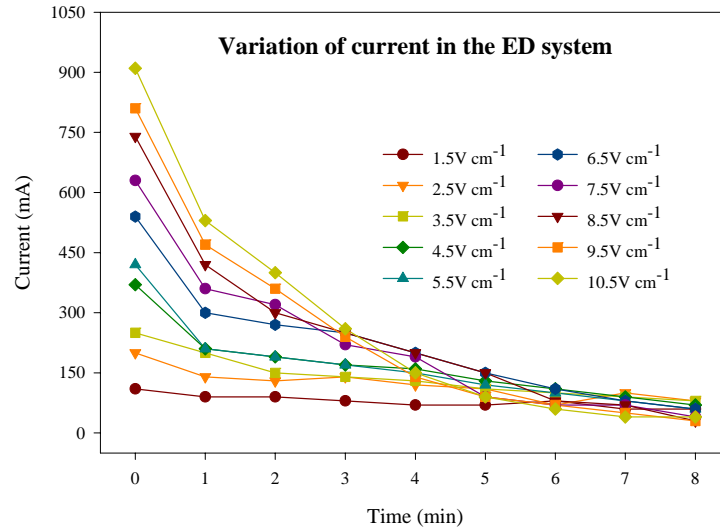


圖 13 ED 系統之電流變化(1.5V/cm~10.5V/cm)

5-5 結論

想要達到較高的離子去除效率，必須控制的參數是電壓梯度；而導電度值要達到自來水質標準，以此實驗模型而言，必須控制作業時間，當電壓梯度 7.5V/cm 以上時，作業時間需達到 8 分鐘以後，被處理過的海水導電度值才可符合飲用水的標準，pH 值也可以維持在中性的範圍內。

在高科技的電子工業應用上，導電度以及 pH 值的要求要更高，而且其原水水質中所含離子不純物隨其應用範圍也有所不同，不同的應用範圍必須選用不同的薄膜以及不同的作業條件，設計不同的實驗模組，電透析法的好處是可以選擇性的去除特定的離子，例如對生產有害的 Na⁺, Cl⁻, Ca⁺ 等離子，在工業上非常有應用價值，是值得開發與推廣的一種淨化水質方法。

參考文獻

1. 美商凱瑟公司，“台灣西部沿海可行海水淡化廠佈設規劃及環評調查”論文發表於朱文生（主講人），經濟部水資源局主辦之『海水淡化技術與應用』研討會，台北（1998）
2. IDA Desalting Plants Inventory Report. NO.12，pp. 49-56.（1992）.
3. 趙洪賓、金錐、劉馨遠，水處理工程理論與應用，科技圖書股份有限公司，第 279-379 頁，（1995）。
4. 陳文祥，“觀摩學習日本高級處理廠、海水淡化廠之設計、操作及管理技術」心得報告，台灣省自來水公司，（2005）。
5. 邱昭源，“海水淡化處理方法規劃之研究—以新竹科學工業園區為例”，碩士論文，國立台灣大學，（2003）。
6. Allison, R.P., “lectrodialysis reversal in water reuse applications.”Desalination 103, pp.11-18(1995).
7. Van der Hoek, J.P., Rijnbende, D.O., Lokin, C.J.A., Bonne, P.A.C., Loonen, M.T. and Hofman, J.A.M.H., “Electrodialysis as an alternative for reverse osmosis in an integrated membrane system.” Desalination 117, pp.159-172 (1998).
8. DESWARE。Global Production of Desalination Water。取自 <http://www.desware.net/desware/desa.asp>(2003).
9. 王大銘，“滲透蒸發技術的發展”，國立臺灣大學「台大工程」學刊 第八十四期 民國九十一年二月 第 119-127 頁（2002）。
10. Irving Moch, Jr. and Michelle Chapman “WTCost© - A Computerized Water Treatment Cost Estimating Program”， IDA. pp.141-154 (2005).
11. B.M. Misra “IAEA’S Desalination Economic Evaluation Programme (DEEP)”， IDA. pp.155-162(2005).
12. Gerard Velter “Case Studies: Ashkelon 100 MC/Year BOT Project”， IDA. pp.265-268(2005).
13. 林義凱、周文朕，“台積電節水成果介紹”，永續產業發展雙月刊，第 47-54 頁(2003)。

Abstract

The potable and clean water for animals' survival comes from the natural circulation and filtration. However, the natural circulation of water is too slow to provide human's needs. As a result, people have to develop and search the new water resources to solve the problem of water shortage. The biggest water tanks in the world are seas and oceans. If people can obtain the fresh water from seas, we don't have to worry the water resources, which seem to be the effective way to overcome the problem of water lack. Many desalination techniques were studied. Among those desalination techniques, electro dialysis (ED) can be used in the place with electricity and possesses the characteristics of selected inorganic removal and organic containing. Therefore, ED has been applied to the quality enhancement of potable water.

The ions of Na^+ , Cl^- , Ca^{+2} in the sea water should be removed for the usage in industries and livelihood. This research investigated the ionic removal characteristics of membranes in the ED system. The desalination of sea water is the main goal in this study. In addition, the comparison of ED and other desalination technique was conducted to assess the variance of cost, producing rate, and water quality. The ions removal rate of sea water can be achieved to 80% under our experimental conditions in the ED system. The quality of treated water can roughly meet the standard of potable water in Taiwan.

Keywords : desalination, electro dialysis, ion separation, filtration