



## 國內海淡廠前處理單元之效能評估 – 建立以 SDI 為基礎之分析

楊惠玲<sup>\*a</sup>、甘其銓<sup>b</sup>、黃志彬<sup>c</sup>、林建榮<sup>d</sup>、林紘傑<sup>e</sup>

<sup>a</sup> 國立交通大學防災與水環境研究中心 助理研究員

<sup>b</sup> 嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所 助理教授

<sup>c</sup> 國立交通大學環境工程研究所 教授

<sup>d</sup> 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系 碩士生

<sup>e</sup> 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系 大學生

### 摘要

「問題多」、「操作複雜」為國內對海水淡化廠之普遍印象，主要造成此現象的原因在於實廠用以評估單元效能之指標過於缺乏，導致系統操作不易。目前僅有少數海淡廠以濁度或淤泥密度指數(silt density index, SDI)值評估水質進入逆滲透(reverse osmosis, RO)系統之適宜性，然僅此亦無法掌控前處理單元之效能。因此本研究欲推展 SDI 分析之應用，探討各種前處理程序於實廠之水處理成效，評估將系統中各單元產水之 SDI 分析列入實廠例行分析項目之必要性。結果顯示，SDI 確實可反應出單元操作效能。此外，本研究藉由各海淡廠之評估結果，提出實廠常見之問題與建議解決方式；並藉由各廠之操作經驗，整理出在正常操作下，各種前處理單元組合其理想之 SDI 表現，此將為實廠操作之重要依據。本研究亦建議在考量操作之便利性、匣式濾材之廢棄物處理費及 RO 膜之生物性阻塞等面向下，超濾(ultra-filtration, UF)前處理為現階段新設海水淡化廠之最佳前處理方式之選擇。

**關鍵字：**海水淡化、前處理、SDI

---

\*通訊作者：楊惠玲

E-mail: tracy.hl.yang@gmail.com





## 壹、前言

台灣原本即為缺水國，因氣候變遷，使原本時間與空間即分配不均之降雨更加顯著，鬆軟之土石亦常導致降雨後原水濁度偏高，或汙染與優養化導致自來水原水無法使用，更加重所面臨之缺水窘境，因此，使得海水淡化成為國內之重要替代水源之一。目前國內所有提供民生用水之淡化廠共分布於澎湖、金門、馬祖三個行政區，由於屬於小型島嶼地理型態，導致雨水及河川之匱乏，飲用水水源僅能依賴少數小型水庫及有限的地下水與海水，因此相繼興建多處淡化廠，以提供不足之水源。迄 2011 年國內共有 14 座海淡廠，其中澎湖 7 座，分別為烏坎一廠、二廠、馬公海淡廠、望安海淡廠、西嶼海淡廠，管轄單位為自來水公司，而虎井、桶盤海淡廠由澎湖縣政府管轄。金門目前僅 1 座海淡廠，由金門縣政府管轄。連江縣政府轄區則有南竿一至三期、東引、西莒、北竿海淡廠。其中南竿一期已於 2005 年停產，烏坎、望安則於 2011 年整修後重新營運產水，另烏坎一廠之同一場址處更新設 5,500 CMD 馬公海淡廠，目前也已加入供水行列。待興建中之西嶼海淡廠完工後，全台灣之總累積海水淡化設計量將達 21,900 CMD。

隨著水資源短缺的問題逐漸嚴重，海水淡化之設立已非離島之專利，目前台灣本島正有桃園海淡廠之推動，設計容量為 30,000 CMD，規畫中的海淡廠有澎湖馬公 4,000 CMD 及吉貝 500 CMD 的海水淡化廠。除此之外，根據水利署於 2008~2009 年之調查，全台多處皆具有海水淡化開發潛力，包括台中、高雄、雲林麥寮與基隆地區之開發潛勢，有 20~70 萬 CMD 之需求。相較於目前已開發之海水淡化產量約 5 萬 CMD，潛力不容小覷。

目前國內外海水淡化處理技術仍以逆滲透(reverse osmosis, RO)為主，而為降低 RO 膜之阻塞，預處理程序之選擇便十分重要，國內外常用海水淡化 RO 系統之預處理程序包含機械過濾及化學藥劑添加，其中機械過濾亦即砂濾、匣式過濾等單元，化學藥劑之添加則包含有消毒劑次氯酸鈉(NaOCl)、混凝劑氯化鐵(FeCl<sub>3</sub>)、除氯劑亞硫酸鈉(NaHSO<sub>3</sub>)及抗垢劑硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)等(Xu et al., 2007)，此類預處理方式之濾材及藥劑皆導致處理成本增加。故近年來國內外新建或設備更新之海淡廠，皆以超過濾(ultra filtration, UF)為主要前處理單元。此方式乃現階段最具發展潛力的 RO 前處理方法之一，其優點可減少前處理系統之設備佔地面積，且節省傳統處理程序所需添加之大量化學藥劑，並可增加 RO 的使用壽命，降低膜的汰換率(Teng et al., 2003)，並較傳統之預處理提供 RO 系統更穩定的水質。此外對於生物性阻塞，UF 預處理亦可以有效去除微生物，降低 RO 膜的生物性阻塞(Murrer & Rosberg, 1998)，以 UF 為前處理之 RO 系統 RO 膜清洗頻率可從 4~12 次/年降至 1~2 次/年。

常見用於評估進入 RO 系統之顆粒性阻塞指標為淤泥密度指數(silt density index, SDI)值，進流水之 SDI 值，為評估原水之膠體/顆粒性阻塞潛勢之重要指標，並可利用連續過濾試驗求得。當 SDI 小於 2~3，方適於進入 RO 處理單元；低於 2 則表示無須額外過濾預處理；大於 4 的則預處理是必要的(Voutchkov, 2010)。





Brehant et al. (2002) 指出傳統預處理程序無法將 SDI 值降至低於 2.5，而 UF 預處理可將 SDI 值降至 1 以下。然 Luo & Wang (2001) 之研究結果顯示，即使進流水 SDI 值小至 0.3 ~ 0.6，阻塞依然發生，故 SDI 值並無法完全反映 RO 阻塞之潛勢。儘管如此，本研究藉由台灣目前海淡廠處理系統各單元之 SDI 分析結果，探討 SDI 值擴大應用於系統處理單元效能評估之可行性，並藉由各廠之操作經驗，整理出在正常操作下，各種前處理單元組合之理想 SDI 表現。以供現有或新建海淡廠之設計操作參考。

## 貳、 研究方法

本研究於 2011 年 8 月進行各海淡廠之現場處理單元之調查與 SDI 值之分析，訪視對象分別以不同行政區，包括澎湖、金門及馬祖，及不同前處理程序為篩選依據，國內之海水淡化廠處理程序可被大致歸類為三類，如下：

Type I：原水井 – 砂濾 – 匣式過濾（濾心式 or 袋濾式）– RO – 消毒 – 供水，澎湖西嶼海淡廠為代表。

Type II：原水井 – 快混 – 慢混 – 沉澱 – 砂濾 – 匣式過濾– RO – 消毒 – 供水，馬祖東引海淡廠為代表。

Type III：原水井 – 粗濾(100 or 200  $\mu\text{m}$ ) – 超過濾(UF) – RO – 消毒 – 供水，澎湖烏坎海淡廠為代表。

雖主要處理程序包含上述三大類，但依各廠之差異，本研究仍篩選出八廠，分別以海淡廠 A~H 表示，其前處理單元如表 1 所示。SDI 乃以 GE Osmonics 所出產的手動 SDI 分析儀進行分析，如圖 1 所示。

表 1 本研究所評估之海淡廠處理流程

海淡廠		A	B	C	D	E	F	G	H
海淡處理流程									
廠外管中加藥混凝		*							
廠內槽體添加混凝劑				*					
原水池	具曝氣功能				*		*		
	無曝氣功能	*	*	*		*		*	*
混凝池	有加藥				*	*	*		*
	無加藥								*
斜板沉澱池				*	*	*	*		*
砂濾桶		*	*	*		*	*		
砂濾後水暫存池		*	*	*		*	*		
二道砂濾桶			*						
匣式過濾器	濾心	*		*	*		*		
	濾袋		*			*	*		
UF 前自清過濾器								*	*
UF								*	*
UF 後水暫存池								*	*
UF 後匣式過濾	濾心							*	*





圖 1 SDI 分析設備

至於 SDI 值，可利用下式以連續過濾試驗求得。

$$SDI = \frac{100 \times (1 - T_i/T_f)}{T_i}$$

其中， $T_i$  為起始收集 500 mL 濾液所需之時間， $T_f$  為歷經過濾時間  $t$  後(一般為 15 min，亦即  $T_t$ )，收集 500 mL 濾液所需之時間(ASTM standard test method D 4189-82)。

## 參、 研究結果與討論

### 一、現有海水淡化流程及其單元效能

本研究針對國內現有海淡廠進行一完整單元檢視，並以 SDI 之分析作為簡易單元效能正常與否之評估。

#### 1. 砂濾-匣式過濾前處理

代表廠為 B 廠，其單元 SDI 表現如圖 2 所示，顯示該廠經二道砂濾前處理後 SDI 值不減反增，整體顆粒性阻塞物之去除皆仰賴匣式過濾，該廠之匣式濾袋更換週期為 7 ~ 10 天，雖砂濾單元效能不佳，進入 RO 系統前之水質 SDI 值小於 1，可符合進入 RO 系





統之顆粒性指標水準。而造成本廠砂濾單元表現不佳之主要原因在於濾砂未能及時更新或補充，推測濾床已有濾砂分布不均、濾料老化及微生物生長等情形，導致經砂濾床後，有更多砂床內累積之顆粒物質被洗出。由於地理位置偏遠，導致濾砂系統之維護不如台灣本島傳統淨水廠容易，加上現場缺乏效能評估儀器(如 SDI 分析儀)之輔助，並無法反應系統及時效能。

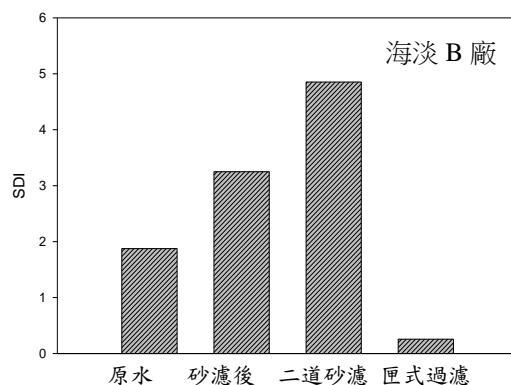


圖 2 砂濾-匣式過濾前處理之各單元 SDI 值

## 2. 具前混凝處理

具混凝加藥前處理之海淡廠有 A 廠及 C 廠，圖 3 為二廠各單元水之 SDI 值，由 C 廠可看出，經混凝後，沉澱單元並無法呈現應有之成效，原因可能為混凝成效不佳，或是混凝後之顆粒無法有效沉降。因此經混凝、沉澱後 SDI 值未見下降。造成混凝成效不佳之原因，主要來自現場並無任何評估混凝加藥劑量之設備與標準程序，加藥量僅依據無法追溯來源之經驗傳承，且與原水水質毫無關連，此必然無法達理想之混凝成效。雖此，此二廠之砂濾單元則較前述 B 廠具有較佳之效能，此可能可歸功於較佳之砂濾單元操作維護。有別於 B 廠，A 廠與 C 廠之所在行政區內皆有傳統淨水廠之存在，濾砂之更換較 B 廠無虞，故砂濾單元可將 SDI 值降至 2 以下。

然而不同的是，此二廠之匣式濾心後水質迥然不同，C 廠之產水 SDI 值隨濾心過濾而降低，且 C 廠濾心之更換週期約為 2~3 週，顯示進水 SDI 值小於 2 之水質，經匣式過濾後 SDI 可降至約為零，且可提升濾心更換週期。然 A 廠卻不降反升，顯示 A 廠之匣式濾心失效。據該廠之操作員表示，其濾心更換頻率為每月更換一次，過長之更換週期，可能為造成其效能不佳之主因。匣式濾心為微生物生長之溫床，穿過砂濾床之藻類及菌類細胞容易於濾芯纖維中滋生而污染水質。

藉由 A~C 廠之水質與操作模式之檢討，建議濾心更換週期可依據進匣式濾心前之 SDI 值決定，當 SDI 大於 5，則每週更換一次，SDI 小於 2，則 2~3 週更換一次。



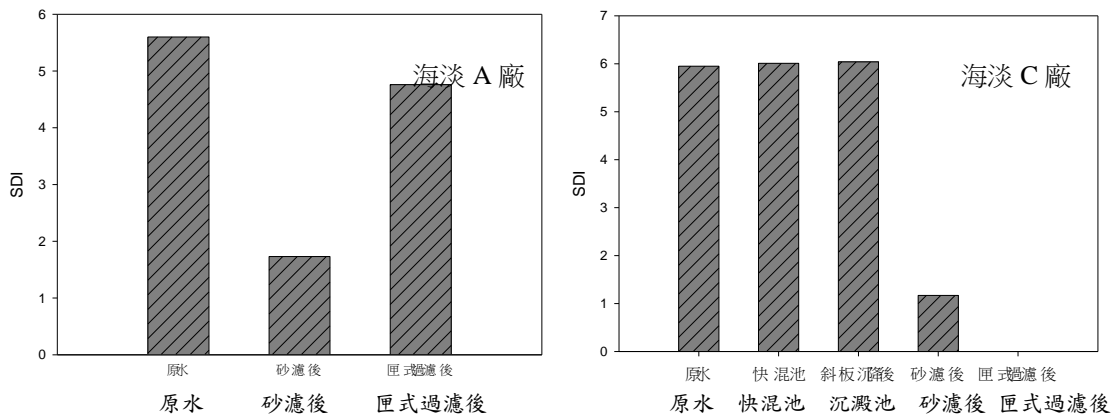


圖 3 混凝-砂濾-匣式過濾前處理之各單元 SDI 值

### 3. 具混凝沉澱槽體，目前未加藥

代表的海淡廠為 D、E、F 廠(圖 4)，此類海淡廠之特性為皆具混凝沉澱池，然至今已不添加混凝劑，因此凝沉澱槽體僅視為具延長沉澱停留時間之效果。由此三廠可發現未加藥之凝沉池多半不具處理效果，如廠 D 與廠 E，沉澱後之 SDI 值仍與原水相當，甚至高於原水；而 F 廠雖同樣未加藥，但沉澱後卻具有 SDI 值降低之情形，顯示單純沉澱在適當之水力停留時間狀況下，仍可具有相當程度之效果。

砂濾桶之效能於此三廠顯示，即使砂濾進流之 SDI 值大於 5，在砂濾系統操作維護佳之情況，仍具有一定之處理效果，如廠 E 所示，砂濾後 SDI 可降至 3 以下；隨後匣式過濾再將其降至低於 2。F 廠經砂濾後 SDI 可從小於 2 降至小於 1，因此後續二道匣式過濾之負擔極輕微，可容許之濾心/濾袋更換週期長；D 廠則至砂濾後 SDI 值皆顯示前處理系統失效，僅依賴匣式濾心作為 RO 之前處理，然該系統於設計之初並未留有匣式過濾後之採樣口，因此其效能則不得而知。

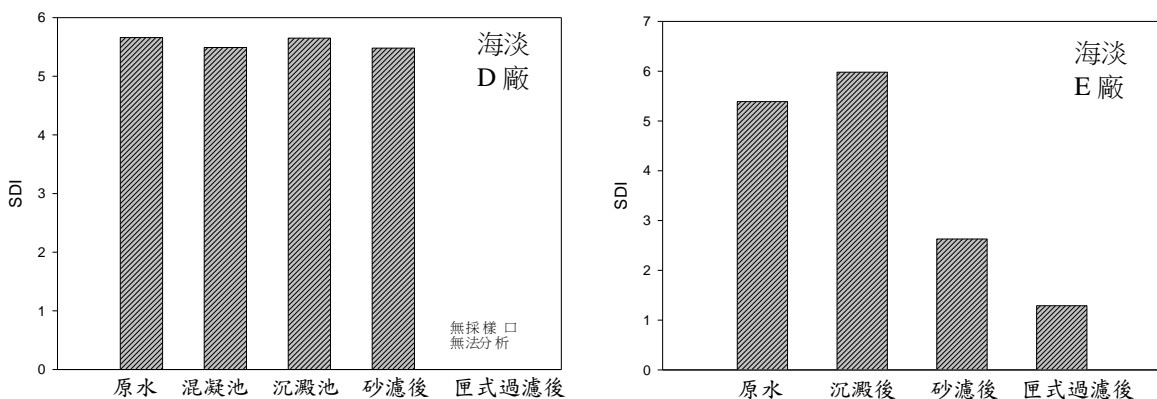


圖 4 沉澱-砂濾-匣式過濾前處理之各單元 SDI 值

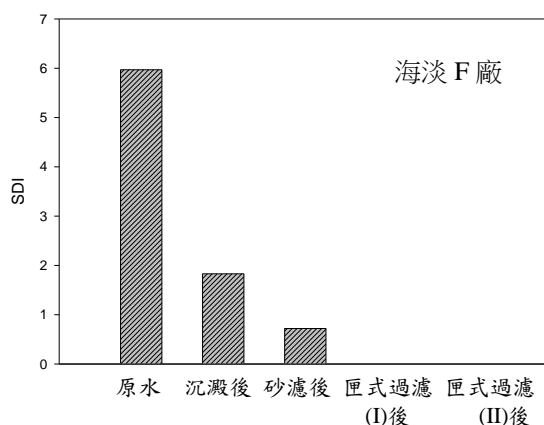


圖 4 沉澱-砂濾-匣式過濾前處理之各單元 SDI 值 (續)

#### 4. UF 前處理

以 UF 為前處理之廠別為海淡 G 及 H 廠，其處理程序不同之處在於在於本研究進行時，G 廠未進行前加氯，而 H 廠具有前加氯及後除氯程序。然 SDI 評估結果(如圖 5)顯示無論 G 或 H 廠，其沉澱單元對顆粒性阻塞物不具顯著去除效果；130 μm 篩網亦僅作為攔截藤虎幼蟲等浮游生物，以保護 UF 膜，理當不具成效；而經 UF 後，SDI 值可分別降至小於 1 及小於 2。後者 H 廠稍差之原因應在於加氯導致膠體顆粒被氧化而變小。然經匣式濾心後，H 廠卻擁有較佳之 SDI 值，此可能亦與加氯有關。加氯可將水中微生物活性降低，減少其於匣式濾心纖維中之滋生的機會；反之 G 廠未加氯，如同前述 A 廠一般，導致匣式過濾中之顆粒物質(主要為微生物細胞)被洗出。

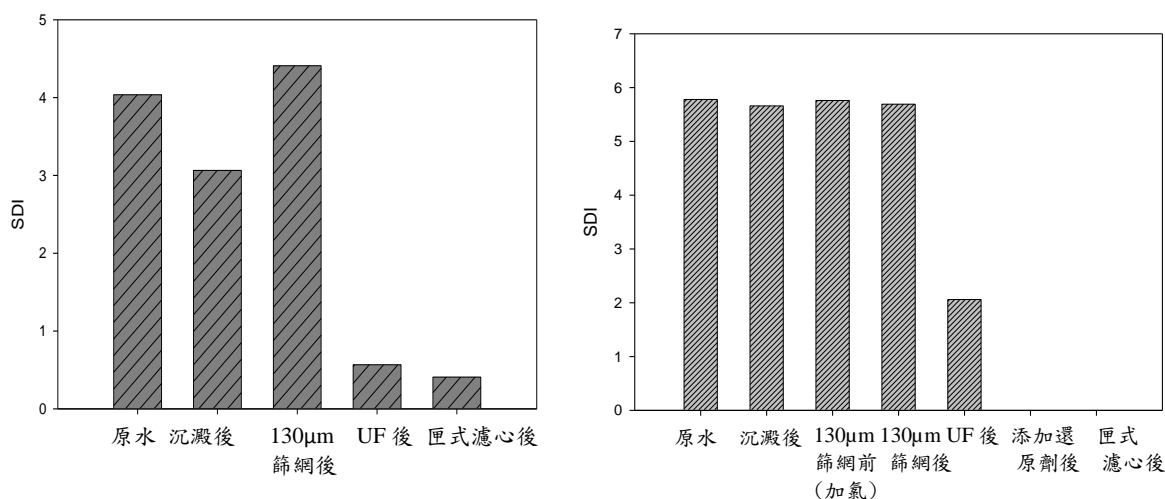


圖 5 UF 前處理之各單元 SDI 值

## 二、現有海水淡化常見問題與解決方式

綜合上述評估結果顯示，過去 SDI 值僅用於評估進入 RO 系統膠體/顆粒性阻塞之潛





勢，一般 RO 膜廠商建議 SDI 需小於 5，方適合進入 RO；然研究指出 SDI 值大於 2~3，乃前處理能力不足，需予以加強。然而本研究將 SDI 值擴大運用至各單元產水之評估，發現可確切判斷系統之效能。過去對於海淡砂濾桶之濾砂更換或補砂並無明確之判斷依據；對匣式過濾之濾材更換各廠標準不一，通常以濾器前後壓降作為判斷依據，然而，此往往忽略微生物增生而導致增加產水 SDI 值問題，亦即在濾材達更換標準前，即已先出現效能不佳之情形。故本研究說明 SDI 不僅可判斷水質對 RO 膜之阻塞潛勢，亦可用於各單元之效能評估，因此建議應列為個海淡廠所需具備之基本水質鑑定工具，並將其分析列入例行水質分析項目。

本研究之結果亦發現造成海淡廠前處理效能不佳之普遍問題，其相對應之解決方式建議如表 2 所示。

表 2 海淡廠常見問題及建議解決方式

問題單元之表現	原因	建議解決方式
混凝沉澱後水質不佳	欠缺混凝劑加藥量之評估	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 捨棄混凝加藥</li> <li>2. 或建立原水瓶杯試驗為例行公事</li> <li>3. 或按季節/天候添加混凝劑</li> </ol>
砂濾後水質不佳	濾砂久未更新，濾料老化	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 定期更新/補充濾砂</li> </ol>
經濾心/濾袋後水質不佳	濾心更換週期過長	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 及時更換濾心/濾袋</li> <li>2. 系統加氯(需搭配 RO 前除氯)</li> </ol>
綜合建議	--	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 槽體、管線定時清洗/消毒</li> <li>2. 愈偏遠之離島，愈建議使用易維護之薄膜前處理裝置</li> </ol>

此外，整合各廠之水質調查結果，顯示在正常操作下，各種處理單元組合可獲得之理想 SDI 值如圖 6 所示，不同前處理程序將影響後續匣式濾材之更換頻率。對既設廠而言，其可做為以 SDI 分析為基礎下之系統操作效能評估依據；對未來即將設置之海淡廠而言，根據操作之便利性，並將匣式濾材之廢棄物處理費與 RO 膜之生物性阻塞考量在內，則建議以 UF 前處理為較佳之選擇。





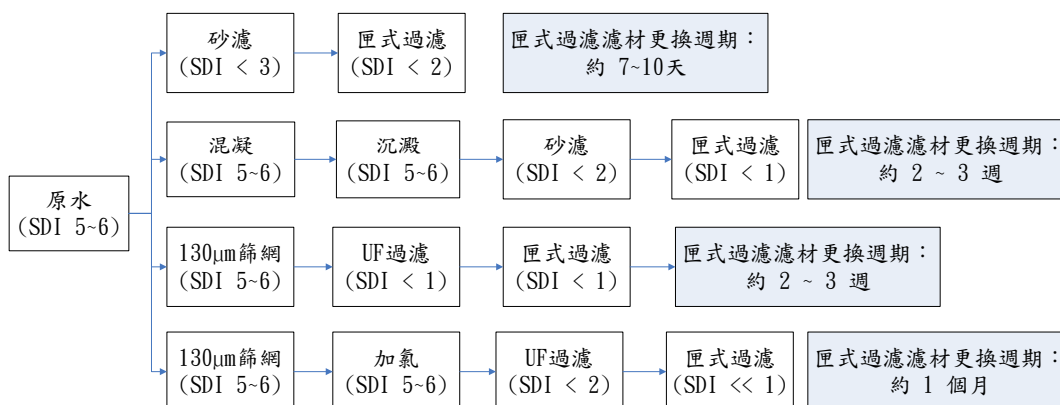


圖 6 各種處理單元組合之理想 SDI 值

## 肆、 結論與建議

SDI 理應為每一海淡廠須具備之分析工具之一，然過去並未被確實應用，許多海淡廠之分析設備為固定式設置於 RO 進水前，且目前皆已老舊不堪使用，因此建議各廠備有手提式 SDI 分析儀，並定期進行前處理單元之健檢，特別是用來判斷濾砂及匣式濾材之更換時機。此外，建議在考量操作之便利性、匣式濾材之廢棄物處理費及 RO 膜之生物性阻塞等面向下，UF 前處理為現階段新設海水淡化廠之最佳前處理方式之選擇。

## 致謝

感謝台灣水利署補助研究經費(計畫編號：MOEAWRA1000089)及台灣自來水公司與澎湖、金門、連江縣政府及其所屬海淡廠提供相關協助，使本研究得以順利進行。

## 參考文獻

1. ASTM standard test method D 4189-82. (1987). Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of Water - American Standard.
2. Brehant, A., Bonnelye, V. & Perez, M. (2002). Comparison of MF/UF pretreatment with conventional filtration prior to RO membranes for surface seawater desalination. *Desalination*. 144, 353-360.
3. Luo, M. & Wang, Z. (2001). Complex fouling and cleaning-in-place of a reverse osmosis desalination system. *Desalination*. 141, 15-22.





4. Murrer, J. & Rosberg, R. (1998). Desalting of seawater using UF and RO – results of a pilot study. *Desalination*. 118, 1-4.
5. Teng, C. K., Hawlader, M. N. A & Malek, A. (2003). An experiment with different pretreatment methods. *Desalination*. 156, 5 1-58.
6. Voutchkov, N. (2010). Considerations for selection of seawater filtration pretreatment system. *Desalination*. 261, 354–364.
7. Xu, J., Ruan, G., Chu, X., Yao, Y., Su, B. & Gao, C. (2007). A pilot study of UF pretreatment without any chemicals for SWRO desalination in China. *Desalination*. 207, 216–226.





## The basis of conducting SDI as evaluation tool in pretreatment efficiency of seawater desalination plants in Taiwan

Hui-Ling Yang<sup>\*a</sup>, Chichuan Kan<sup>b</sup>, Chihpin Huang<sup>c</sup>, Jian-Rong Lin<sup>d</sup>, Hong-Jie Lin<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Assistant Research Fellow, Water Research Center, National Chiao Tung University

<sup>b</sup>Assistant Professor, Department of Environmental Engineering and Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

<sup>c</sup>Professor, Institute of Environmental Engineering, National Chiao Tung University

<sup>d</sup>Graduated student, Department of Environmental Engineering and Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

<sup>e</sup>Under graduated student, Department of Environmental Engineering and Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

### ABSTRACT

Seawater desalination in Taiwan has been thought as complex and full of problem. Lack of comprehensive operation index is one of the major reason making systems not work well. Just several desalination plant have used RO feed turbidity and SDI to be the water quality control. However these still couldn't help to express the efficiency of every pretreatment unit enough. Therefore, this study tried to extend the application of SDI to every pretreatment product. And evaluate the necessary of keeping SDI analysis to be one of the essential items in desalination plan. Results indicate that SDI could be a basic tool to reflect treatment unit conditions. Besides, according to the SDI evaluated results of eight desalination plants, this study provides recommendations against the common problems and to be reasonable guild for real plant operation. Overall, a consideration of stable permeate water quality according to SDI in this study, and other advantages of UF, such as operation convenient, cost of waste cartridge filter treatment, lower RO biofouling potential, this study concludes that UF is an idea pretreatment method in seawater desalination plant.

**Keywords:** Seawater desalination, pretreatment, SDI

---

\* E-mail: tracy.hl.yang@gmail.com

