

事業排放廢水於 灌溉渠道時電導度 管制之研析

◎執筆 / 林正祥 · 陳見財 · 林文川

前 言

依據水污染防治法及相關環保法令之規定，事業排放廢(污)水於地面水體者，應向主管機關申請，經審查登記，發給排放許可證，始得排放廢(污)水至承受水體。部分工廠因受限於早期土地開發之規劃狀況及河川渠道分布之影響，製程中所產生之廢水經妥善處理後需排放至灌溉專用、灌排併用或迴歸利用渠道中，亦即以「搭排」方式排放流水至水利會所轄之灌溉水道中。因此，其放流水水質不但需受水污法放流水管制項目與標準之規範，同時需符合灌溉用水水質電導度管制標準 $750 \mu \text{ mhos/cm}$ ($\mu \text{ S/cm}$) 之規範。一般工廠製程用水水源部分採取地下水或地表水(河川水)作為水源，因有些水源鹽化致使其水質電導度已高於 $750 \mu \text{ S/cm}$ ；此外，工廠於生產過程中添加多種化學藥劑、水回收循環使用及廢水處理時添加化學藥劑等，工廠放流水中之電導度因事業行業別而異，染整業、金屬表面加工業放流水電導度高範圍達 $2,000\text{--}4,000 \mu \text{ S/cm}$ 。

臺灣地區部分工廠設立地點附近無承受水體、污水下水道系統，且禁止排入雨水下水道，故依據水污法第十五條之規定以搭排方式排放流水。最近，事業單位於申請排放許可證展延時，因水質電導度超過水利會灌溉水質管制標準 $750 \mu S/cm$ ，無法取得水利會之搭排同意書，以致於無法展延排放許可證，影響產業界之營運及經濟發展。本文乃介紹電導度控制技術與其成效評估，並彙整相關文獻檢討電導度管制現況及問題，以供各界檢討修訂電導度管制之參考。電導度控制技術包括：採用清潔生產製程、加強廠內減廢回收、廢水與廢液妥善分流處理、廢水處理系統加藥最佳化和增設高級處理設施（如離子交換樹脂、逆滲透法、電透析法等）。

電導度控制技術

(一)加強工廠污染預防

1.採用清潔生產製程

檢討工廠製程使用之原物料種類，依照製程需求，使用適當濃度、適當量或低電導度之原物料，避免超量使用原物料或使用高電導性之物質。日本與韓國已有實際案例之清潔生產技術一運用電離子水之製程洗淨技術，電離子水是於1996年日本所開發出來之一種不使用藥物及清潔劑的洗淨技術，由於不使用任何藥劑，所以不會造成電導度的上升。其原理為利用電透析薄膜技術將水分子電解分離為氫離子水與氫氧離子水，氫氧離子水即可取代含鹼清潔劑，發揮脫脂洗淨效果；根據運用於日本遠山工業與韓國LG電子工廠之實例，使用後約在2年8個月與1年6個月即回收所投資的設備成本。

2.加強廠內減廢回收

廢水/廢液之分流、污染物質種類及污染濃度將直接影響廢水處理流程之規劃、化學藥劑種類之選擇與加藥量之考量，因此工廠應妥善進行廠內減廢資源回收及廢水分流工作，以降低廢水處理後之電導度；如鎳離子、銅離子或六價鉻等，宜以離子交換系統或電解法進行資源回收方式處理，減少廢水處理時化學藥劑之添加並降低電導度。

3.廢水/廢液妥善分流處理

製程中所產生之高濃度廢液應與低濃度廢水分流，並將可資源化高濃度廢液進行回收、非資源化高濃度廢液則儘量採物理方式處理，否則亦應使用低電導度之化學藥劑進行化學處理；如此將可避免高低濃度廢液、廢水混合處理，而增加處理水之電導度。

(二)改善既有廢水處理設施

廢水之電導度來源主要為製程中及廢水處理時所添加之各種不同用途之化學藥劑，廢水處理設施操作調整至最佳化及增設高級處理設施可降低水中電導度，可行之技術彙整說明如下：

1.調整廢水處理系統至最佳化操作

由表1之三家工廠實測資料顯示，常用之酸劑、鹼劑、氧化劑及還原劑等化學藥劑，如NaOH、 H_2SO_4 、 $NaHSO_3$ 、 $Ca(OH)_2$ 、高分子凝集劑等，均為高電導度之化學藥劑，導致處理水之電導度大幅增加，可見廢水處理時，若能配合前述之工業減廢、資源回收，並利用杯瓶試驗調整既有處理設施之最佳化操作參數，以尋求最適當之化學藥劑種類與加藥量，將可因此降低整體處理水之電導度。

2. 增設高級處理設施

電導度去除技術主要為離子交換樹脂及薄膜分離(逆滲透法與電透析法)，此兩種技術特性比較如表2所示，各技術特性分述如下：

(1) 離子交換樹脂

由於水中之電導度係由無機性之陽離子及陰離子所產生，而廢水處理系統之處理水含有各種不同類型之離子，因此，經廢水處理系統處理後之處理水可

表1 三家工廠廢水處理單元電導度實測值

單位：μS/cm

工廠別	製程類型	綜合廢水	還原槽	pH調整槽	慢混槽	沉澱槽	放流槽
A廠	單一產品電鍍	400	1,560	1,983	2,400	2,450	2,450
B廠	加工型電鍍	1,600	3,050	2,500	2,560	2,667	2,533
C廠 ^[註]	鋼線鋼纜	424	—	—	—	1,699	840

[註]：沉澱槽後有設置砂濾

表2 水中電導度控制技術特性比較

項 目	離子交換樹脂法 (IX)	電透析法 (ED)	逆滲透法 (RO)
原水電導度限制 (μS/cm)	<1,000	<3,000	<15,000
產水電導度 (μS/cm)	<5.0	<600	<600
除鹽率	>95%	80%左右	>96%
造水率	水質愈差，造水率愈低，約50~80%	約50~80%	>50~80%
設置成本	20萬元/m ³ (含前處理系統)	6萬元/m ³	0.5~2.0萬元/m ³ (含前處理系統)
操作成本	30~40元/m ³ (含前處理系統)	3~4元/m ³	30元/m ³ (含人事費)
綜合說明	1.設置及操作成本偏高 2.需設置適當前處理設備 3.有再生酸鹼廢液處理問題	1.可容忍較差水質(雜質)之原水 2.適合回收低濃度酸鹼廢液等資源回收用途，或低電導度廢水之回收 3.原水濃度太高或級數太多，除了高耗電量，除鹽效率也會降低 4.有濃縮液排放問題，膜清洗容易，不易堵塞	1.可處理高電導度原水 2.需注意前處理成效、堵塞及淤塞等問題 3.有濃縮液排放問題 4.經濟效益較高

備註：為某個案探討之初設成本、操作成本及處理成效，這些均與處理水水質特性有關，實際狀況需依個案特性，進行可行性試驗。

採用分床式之離子交換樹脂，進行電導度之處理。離子交換樹脂原水電導度限制在 $1,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下，處理水電導度可達 $5.0 \mu\text{S}/\text{cm}$ ；樹脂飽和時，需以酸鹼劑進行再生，再生劑量以 H_2SO_4 而言，每公升樹脂約需使用 $150\text{g } \text{H}_2\text{SO}_4$ ，廢液體積增加，再生廢液濃度需以廢棄物型式處理為其最大缺點。離子交換樹脂處理電導度特性與成本如表 2 所示，需設置前處理過濾系統如砂濾；設置與操作成本(含前處理系統)分別為 20 萬元/ m^3 與 30~40 元/ m^3 ，RO 除鹽率可達 95% 以上。

(2) 薄膜處理系統

薄膜處理系統由於技術不斷改進、薄膜製造成本持續降低與模組化組裝容易快速建造，已廣泛應用於各產業製程、海水淡化與污染防治，目前商業用途之去除電導度技術，主要可分為蒸餾法及薄膜法兩大類。蒸餾法大多應用於海水淡化，設置及操作成本高，本文不予討論；薄膜法已商業化且適合處理電導度者主要為逆滲透法(RO)及電透析法(ED)二種，說明如下。

逆滲透法雖較其他薄膜技術開發較晚，但已被世界各國所廣泛使用，主要原因是在薄膜材質及能源回收改良技術已達成熟階段，不但處理成本已降低且造水率、除鹽率均高，而膜管平均使用壽命長，並且可應用在工業廢水處理；同時，系統之興建時程短、佔地面積小與模組化組裝簡易。逆滲透系統之薄膜種類眾多，已能符合多項不同特性之工業廢水處理，且可容許電導度 $15,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 之原水，其處理電導度特性如表 2 所示；在良好之前處理系統、模組系統規劃設計及操作維護下，RO 除鹽

率可達 96% 以上，設置與操作成本(含前處理系統)分別為 0.5~2.0 萬元/ m^3 與 30 元/ m^3 。濃縮液因含鹽分高，適合與其他液體工業廢棄物進行焚化。

電透析法乃是利用交互排列之陰陽離子膜，以間隔分開，在兩端電流移動驅使下，陽離子往負極位移，並只能通過陽離子膜；陰離子則往正極位移，只能通過陰離子膜，因此形成交互純水/濃縮水之分離水道，匯集為純水及濃縮水。電透析法可容忍較差水質(雜質)之原水，原水之電導度需低於 $3,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。其處理電導度特性如表 2 所示，除鹽率較差僅約為 80%，設置與操作成本分別為 6 萬元/ m^3 與 3~4 元/ m^3 。

電導度管制標準之相關研究資料彙整

1. 農作物耐鹽性

台大農業工程研究所徐玉標教授等(1978 年)之研究如圖 1 所示^[3]，耐鹽性最小之豆類約在電導度 $1,250 \mu\text{S}/\text{cm}$ 時才會減產 10%，水稻則約在 $4,800 \mu\text{S}/\text{cm}$ 時才會減產 10%。此外，根據美國農業部土壤鹽化研究實驗室(U.S. Salinity Laboratory, USSL)1990 年研究資料如表 3 顯示^[4]，相關敏感性作物如蠶豆類其電導度界限值(Threshold Value)均為 $1,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上，水稻之界限值則為 $3,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，均比我國目前所定之搭排標準 $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ 為高。

2. 國內河川之電導度背景

如表 4 所示國內彰化縣三條主要河川電導度監測結果，有些河段其電導度甚至有超過 $1,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上。

由圖 1、表 3 及表 4，顯示各流域之電導度背景值及各不同作物對電導度

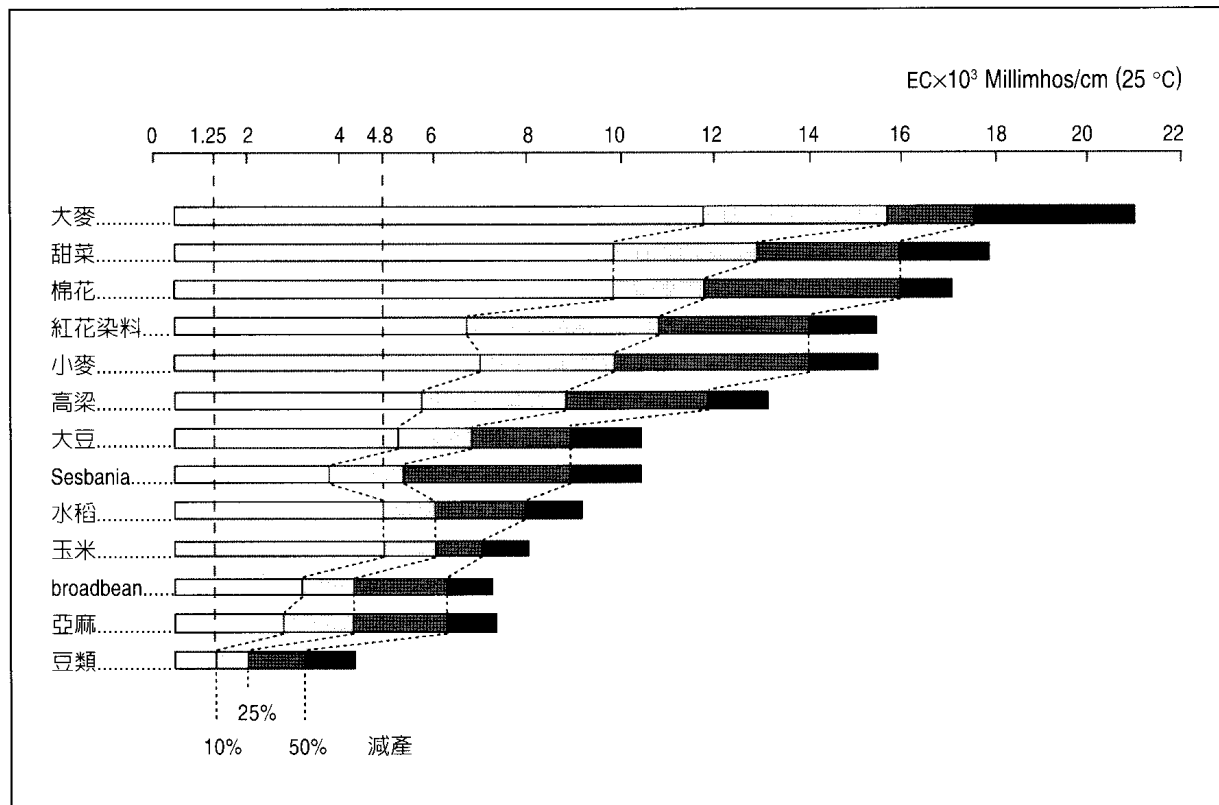


圖 1 各種農作物耐鹽性大小順序表^[3]

表 3 美國土壤鹽化研究實驗室 1990 年作物電導度容忍值表^[4]

作物俗名	作物學名	容忍值 (μ S/cm)	作物敏感等級
豆類 (Bean) (含：蠶豆、豆莢、菜豆)	<i>Phaseolus vulgaris</i>	1000	敏感性作物
水稻 (Rice, paddy)	<i>Oryza sativa</i>	3000	敏感性作物
大豆 (Soybean)	<i>Glycine max</i>	5000	中度耐鹽作物
胡蘿蔔 (Carrot)	<i>Daucus carota</i>	1000	敏感性作物
洋蔥 (Onion)	<i>Allium Cepa</i>	1200	敏感性作物
草莓 (Strawberry)	<i>Fragaria sp.</i>	1000	敏感性作物
扁桃、杏仁 (Almond)	<i>Prunus Duclis</i>	1500	敏感性作物
杏樹 (Apricot)	<i>Prunus armeniaca</i>	1600	敏感性作物
黑莓 (Blackberry)	<i>Rubus sp</i>	1500	敏感性作物
雜種莓 (Boysenberry)	<i>Rubus ursinus</i>	1500	敏感性作物
柚子 (Grapefruit)	<i>Citrus paradisi</i>	1800	敏感性作物
橘子 (Orange)	<i>Citrus sinensis</i>	1700	敏感性作物
桃、桃樹 (Peach)	<i>Prunus Persica</i>	1700	敏感性作物
李子 (Plum)、梅子 (Prune)	<i>Prunus domestica</i>	1500	敏感性作物

表 4 彰化縣三條主要河川電導度監測結果

單位：μ S/cm

河川別	檢測月份	測 點	平均電導度
洋仔厝溪	1999/01 至 1999/03	洋仔厝橋	8530
		頭汴附橋	1120
		線東橋	726
員林大排	1999/01 至 1999/03	福興橋	865
		梧鳳二橋	807
舊濁水溪	1999/01 至 1999/03	裕農橋	3870
		溪湖橋	938
		鹿島橋	1280

資料來源：台中縣水質監測站網路資料

之恕限值均不同，國內所定之搭排標準一律為 750 μ S/cm 之適宜性實值得檢討。

結 語

根據內政部營建署 2001 年 12 月份資料顯示目前全國下水道普及率僅 7.5%、專用下水道普及率也僅 7.2%，有些縣市如彰化縣、雲林縣、台南縣等其公共下水道普及率為 0%，而專用下水道普及率也不到 2%，導致這些地區之工廠與未在工業區內之工廠必須增設電導度控制設備才能順利搭排水利渠道，如此之成本將無法為工廠所負擔。排放水之電導度控制雖然可由清潔生產製程、加強廠內減廢回收、廢水與廢液妥善分流處理與廢水處理系統加藥最佳化等，來降低電導度，然而，要達到符合搭排所需之灌溉用水水質電導度現行管制標準 750 μ S/cm 之規範，就必須增設高級處理設施（如離子交換樹脂、逆滲透法、電透析法等），目前不管運用何種控制技術，其成本均為原廢水處理成本倍數以上（處理成本約為 40~60 元/

噸）：在目前自來水費仍僅 9.0 元/噸下，其回收效益均不大，且成本無法為工廠所接受。各不同作物對電導度之恕限值及國內各流域之電導度背景值均不同，超出 750 μ S/cm 甚多，顯示國內所定之搭排標準一律為 750 μ S/cm 限值之適宜性，亟待政府相關部門共檢討。此外，要徹底克服排放水電導度管制問題，實有賴檢討灌排分離；在現階段灌排分離未設置前，為讓作物免受鹽化損害，建議能考量各區域之作物特性與搭排渠道電導度背景值，調整不同區域之搭排合理電導度管制值，使環境保護與經濟發展能兼籌並顧。■

參考資料

1. 經濟部工業局，「工業廢水電導度現況與處理技術研析」報告，2001 年 6 月。
2. 經濟部工業局，「廢水薄膜處理技術應用與推廣手冊」，2000 年 12 月。
3. 徐玉標等，「台灣南部農田灌溉與排水污染質之研究」，台大農工所 NTU-AE-1978-02-312 計畫，1978 年 4

月。

4. 美國農業部土壤鹽化研究實驗室 (U. S. Salinity Laboratory, USSl) 1990 年資料: <http://www.ussl.ars.usda.gov/pls/caliche>
5. 戴岳志, 「台灣地區污水下水道現況及推動對策」, 2001 年下水道工程實務研討會, 2001 年 12 月 7 日。

作者簡介

林正祥—

現職: 財團法人中技社綠色技術發展中心專案經理

學歷: 中興大學環境工程系學士

經歷: 馬祖自來水廠水質工程員、行政院國科會助理研究員

專長: 環境工程、自來水處理、科技管理實務

陳見財—

現職: 財團法人中技社綠色技術發展中心組長

學歷: 碩士

經歷: 財團法人中技社助理工程師、副工程師、工程師、組長

專長: 環保技術

林文川—

現職: 財團法人中技社綠色技術發展中心專案經理

學歷: 成功大學環境工程研究所碩士

經歷: 偉晉環境工程(股)公司經理, 財團法人中技社綠色技術發展中心工程師、小組長、副組長

專長: 空氣污染防治



化工技術

8 月號第 113 期精彩內容介紹

生物感測器及技術

專輯

～ 陳文章 教授主編 ～

- 電流式血糖感測器
- 嗅覺晶片的開發與應用
- 壓電石英晶體生物感測器
- 微型化生醫感測器技術與應用
- 真菌的快速鑑定與 DNA 晶片的研發
- 網版印刷電極於生物感測器之應用及展望
- 離子感測場效電晶體及其於酵素感測器之應用
- 離子感測場效電晶體及其應用於酵素感測器之方法與量測

精選文章

- PVC 懸濁聚合製程之技術展開

專欄

- 人生偶拾——身病易醫·心疾難治

連載

- 夢! 化學 21
- 方寸中的化學及化工技術之八十
- ※ 波義耳與凡德瓦爾氏的氣體定律

報導

- 新書介紹
- 化工人語
- 工廠介紹
- 現場傳真
- 研究所簡介
- 化工界動態
- 新聞稿 / 廠商熱訊
- 8 月、9 月訊息交流區