現場電解消毒技術應用初探

文/甘其銓、萬孟璋、黃俊穎、林敬涵

一、前言

水是人類所賴以生存的要素，自來水的供應代表著文明發展，而自來水供水品質攸關大眾健康，自來水不能受到病原菌之污染，必須確保安全與衛生，只以沉澱、過濾等一般淨水方法不可能完全祛除水中之細菌，並爲確保配水系統之安全與衛生，需要確實的消毒。加氯消毒一直是一般淨水程序用以控制水質衛生指標的傳統方法，利用其消毒能力在淨水廠內與配水管網中控制微生物的成長與其他有機或無機污染物質的污染，以確保供水品質的穩定及安全。除採用氯系消毒劑之外，近年來亦有其他消毒劑如臭氧、二氧化氯等消毒劑已被公告可用於自來水的處理藥劑，但由於淨水廠內設施設備修正不易，以及成本與操作便利、安全性的考量，以致應用的普遍性不高。

台灣目前的自來水消毒藥劑仍是以氯系藥劑爲主，其中又以次氯酸鈉爲主要的消毒藥劑，一般淨水廠皆會購置 10~12%有效氯的液態次氯酸鈉並儲存於藥桶之中，由於現場藥劑儲存槽容量與每日的消耗用量不等，次氯酸鈉於現場的儲存時間從數日至數個月，因此也存在次氯酸鈉老化的問題。台灣地區由於地形高低起伏以及諸多離島，小規模淨水廠或是簡易自來水廠數量多達 350 座以上(黃氏，2007)，而次氯酸鈉儲存以及運送將是不容忽視的問題，在成本經濟、操作與維護便利以及安全考量之下，本文介紹一現場製造消毒藥劑的技術—綜合氧化液，透過此一技術在國外使用於淨水處理，以及在國內於 SPA 池消毒的研究經驗整理，發現此一技術於現場可製造穩定及效率良好的消毒藥劑，研究群有鑑於此，冀望透過此一技術的使用與推廣，可解決台灣偏遠地區自來水消毒的窘境。

二、綜合氧化液

現場電解製造消毒劑技術基於電解原理進行，將水加以電解，在陽極會生成具氧化力之酸性水，陰極則生成具還原力之鹼性水，這兩種不同性質的產出水在實際應用上可分爲酸性水與鹼性水，酸性水可用於殺菌、收斂水、器皿清潔、烹調、電子零件及晶圓清洗等；而鹼性水可用於飲用、保健醫療、食物清洗浸泡、電子零件及晶圓清洗等。而本文所介紹的現場電解製造消毒劑技術，主要是透過電解氯化鈉溶液所產生之綜合性氧化液，在美國、日本等地已廣泛用於淨水廠消毒。綜合氧化液之製程僅使用水與鹽爲材料，經電解後產生液態氯爲主之氧化液，其製造流程如圖 1 所示，20 年來已使用於美國各處之淨水廠消毒，現此技術已於數國申請專利，稱爲 MIOX，擁有公司亦名爲 MIOX Inc.。

由圖 1 可知，綜合氧化液係電解水與鹽(氯化納)溶液所產生之綜合性氧化液。電解時，正極端產生次亞氯酸(HOCl)、二氧化氯(ClO_2)、臭氧(O_3)、氯氣(Cl_2)、氧氣(O_2)及氫

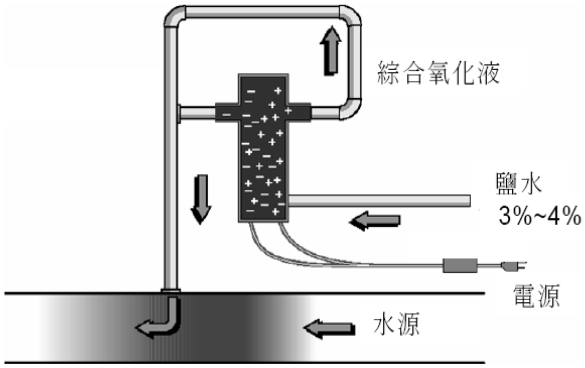


圖 1　綜合氧化液之製造流程

氧基(OH •)；負極端產生次氯酸納($NaOC_l$)、氫氧化納(NaOH)、氫氣(H_2)等具氧化作用力之成分。綜合氧化液即爲正負極產物的混合液，因此綜合氧化液之組成爲自由餘氯 (Free Available Chorine)、臭氧(Ozone)、二氧化氯(Chlorine Dioxide)、過氧化氫(Hydrogen Peroxide)及其他氧化劑(Unmensurable Oxidents)如氫氧基等。

綜合氧化液之功能包括除菌消毒、提供穩定持久之自由餘氯、促進水中微凝結作用(Microfloculetion)、改善水質(除臭、除味、除鐵、鹽及硫化氫)、消除管壁生物膜及藻類、降低副產物(三鹵甲烷)等。綜合氧化液消毒除菌效果，依據 Barton (1993)的研究，比較綜合氧化液與氯氣的除菌效果，結果如圖 2 所示，在同是 1mg/L 的有效氯之下，綜合氧化液的抑菌表現優於氯氣。

Venczel (1997)的研究亦指出，綜合氧化液對對病毒、病菌及原生物亦具 3~6 Log 之去除率，如表 1 所示。

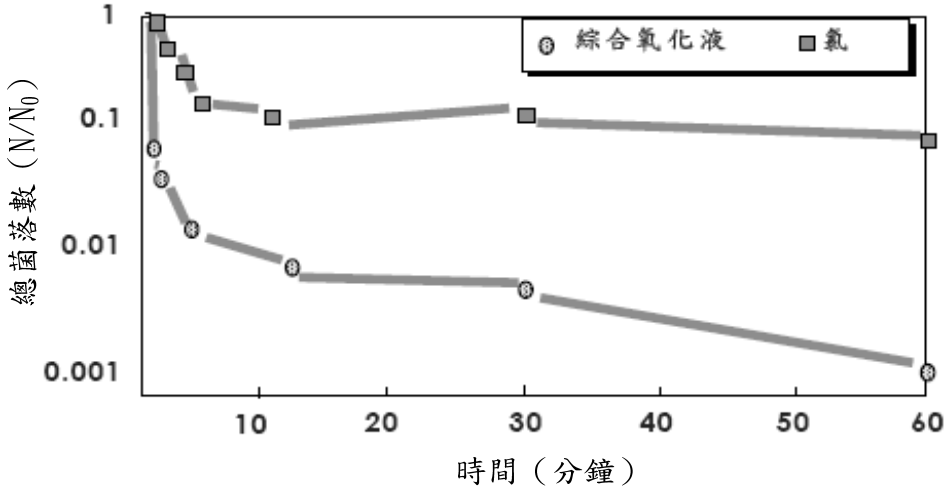


圖 2　綜合氧化液與氯氣抑菌效果比較(Venczel, 1997)

表 1　綜合氧化液對不同微生物之消毒效果

微生物種類	有效氯濃度	微生物數量	作用時間	消毒效果
梨形鞭毛蟲	3.5	4.5×103	30	4
隱孢子蟲	5.0	1.0×106	240	3.5
大腸桿菌	4.0	1.0×106	60	6
退伍軍人症菌	0.5	1.0×107	15	4.5
肝炎病毒	1.0	1.0×106	60	6

Herrington & Bradfod(2000)於三級處理之放流水中，加入 10mg/L 有效氯之綜合氧化液，對大腸桿菌之消毒效果如圖 3 所示，於 CT 值 10 min-mg/L 時即可達到 5Log 的消毒效果，於 CT 值 30 min-mg/L 時即可達到 5.5Log 的消毒效果。根據 Venczel(1997)研究指出，綜合氧化液可維持其強度 5 天，即使經過 14 天，其濃度仍有原來之 50%。

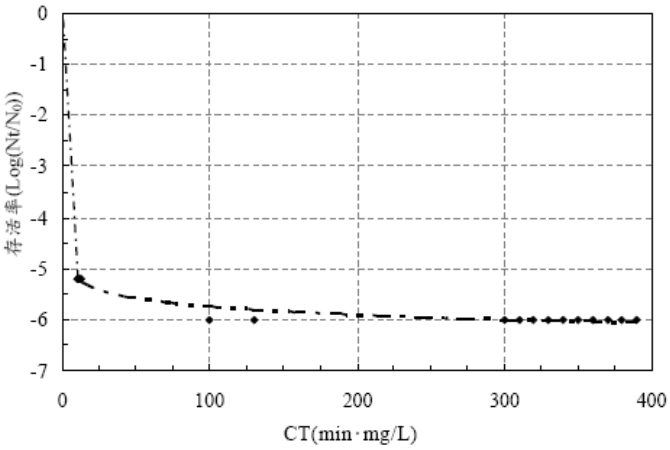


圖 3　綜合氧化液於不同 CT 值下對大腸桿菌抑菌之效果(Herrington & Bradfod,2000)

而根據 MIOX 公司在美國各地自來水系統量測之結果如圖 4 所示，在相同消毒效果的前提下，綜合氧化液的使用比使用氯氣消毒，可降低 30~50%三鹵甲烷（THM）的產生量。綜合氧化液除氧化能力比氯氣高出 1.4 倍外，其自由餘氯亦可維持較久，依照 MIOX 公司實際操作經驗顯示，Bloomfield 淨水場原使用氯氣改用綜合氧化液後，劑量減少 30%仍可維持所需之餘氯；Cash Water Supply 淨水場使用綜合氧化液後，自由餘氯可維持至輸水管末端，而免除三座氯氣加壓站；Lamar County 淨水場在 25 哩之輸水管內，綜合氧化液仍可維持 1.0mg/L 之自由餘氯，而使用氯氣時只能維持 0.2mg/L 之自由餘氯。

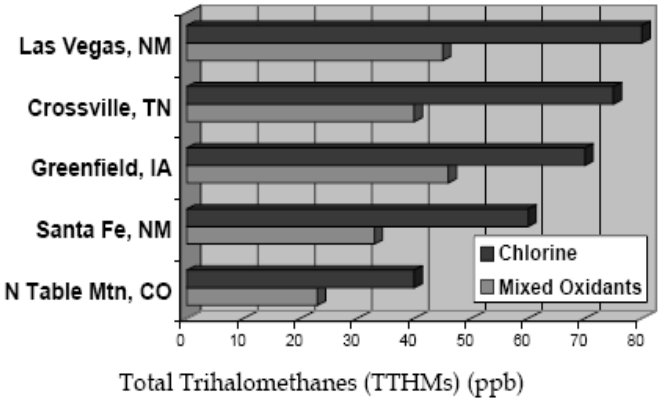


圖 4　綜合氧化液與氯氣對三鹵甲烷生成之影響

由此可見，綜合氧化液應用於自來水的消毒有其優勢，底下針對綜合氧化液與其限制進行整理：

（一）優勢

(1) 操作簡易安全：原料只需水、鹽及電源；現場製造、溶液不含危險物質，降低製造、使用、貯存及運輸之危險性；設備爲自動、自行診斷系統，無需特殊操作訓練；氧化液產生穩定，無需調整；費用低廉、具高經濟效益（每噸水約 0.35 元，使用氯系藥劑約 0.25~0.3 元）。

(2) 消毒力強，產生的自由餘氯較氯系藥劑穩定持久。

(3) 降低副產物之形成。

(4) 設備所佔空間甚小。

(5) 符合美國 EPA Clear Air Act 風險管理、職業安全衛生署（OSHA）製造安全管理及國際防火法規等規定。

（二）限制

(1)原料中之鹽需高純度(99%以上)，避免雜質損壞電解設備；另外，使用泡製鹽的水，其硬度需控制，避免於電極板上結垢，影

響電解效率。

(2)綜合氧化液製造過程會產生微量之氫氣，必須排出室外之空氣中。

(3)尚未取得台灣環保署之淨水藥劑許可。

三、應用綜合氧化液於 SPA 之水質維持成效評估

本研究對 MIOX 公司的 SAL-40 機台所製造出的綜合氧化液進行特性分析，結果如下表表 2 所示，綜合氧化液的原液有效氯濃度爲 3800ppm，pH 值爲 8.73，導電度爲 28.8ms/cm，而利用澳洲日照鹽（NaCl 純度高於 99%）所電解出來的綜合氧化液的溴酸鹽爲 3.5ppm。

研究群於嘉南藥理科技大學水療館即利用 SAL-40 所產生的綜合氧化液進行消毒試驗（如圖 5a.b.所示），每日於下午六點（每日 SPA 池關閉時間）進行水質採樣，SPA 池總容量約 350 噸，研究之中平均於 SPA 四個區域進行混合水樣採樣，實驗期間由 7/29 至 8/7 共十天。

表 2　綜合氧化液特性分析

	pH 值	有效氯.(ppm)	導　電　度	溴酸鹽(ppm)	ORP(mv)
綜合氧化液	8.73	3800	28.8	3.5	733.8

(a)



(b)



圖 5（a）MIOX 現場裝置　(b)嘉南科大 SPA 池俯視

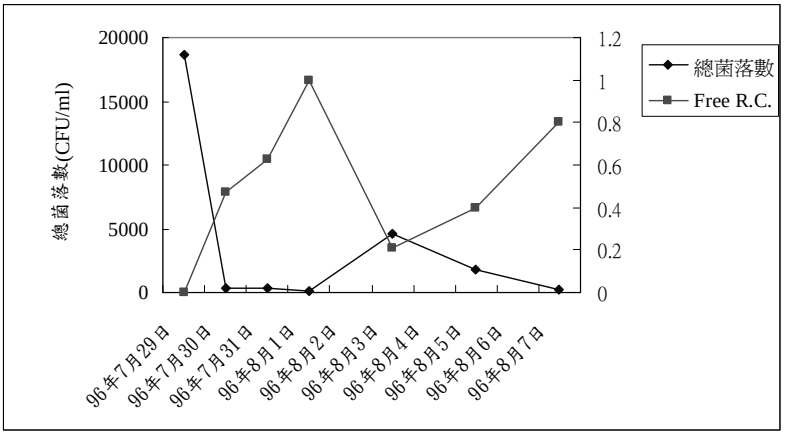


圖 6　SPA 池內自由餘氯與總菌落數之關係

實驗結果如圖 6 所示，7/29 當日共 120 名 SPA 使用人次且當日尚未進行加藥消毒，導致當日總菌落高達 18287 CFU/mL，於 7/30 開始進行 SPA 人數管控（每日約 40 人），並進行綜合氧化液的加藥，有效餘氯爲 0.5 mg/L，總菌落數即減低至 296 CFU/mL，而隨著綜合氧化液的加藥量增加，總菌落數皆維持在 50~350CFU/mL，於 8/3 當日將綜合氧化液的加藥減少至有效餘氯爲 0.2 mg/L，總菌落數即增加至 4566 CFU/mL；但於 8/4 之後將綜合氧化液的加藥增加，總菌落數即呈現減少趨勢。

四、結論

在台灣，自來水消毒仍是以氯系藥劑爲主，現場藥劑儲存的安全與老化，以及消毒藥劑製造出廠的品質，皆直接影響自來水事業供水的品質。經由文獻的分析整理，本文所介紹之現場製造消毒藥劑的技術—綜合氧化液業已廣泛應用於美、日等先進國家的自來水淨水消毒，且效果顯著，消毒副產物的產生亦比傳統氯系藥劑來的低，台灣地區諸多小規模淨水廠或是簡易自來水，在成本經濟、操作與維護便利以及安全考量之下，綜合氧化液應可解決台灣偏遠地區自來水消毒的窘境，並提供優質、安全的飲用水。

參考文獻

1.Barton, L., “Evaluation of the MIOX system for Killing Coliform Bacteria in Swage Water”, Department of Biology, UNM, 193.

2.Venczel, L., “Evaluation and Application of a Mixed Oxidant Disinfection System for Waterborne Disease Prevention”, 1997.

3.Herrington, R.E. and Bradford, W.L., “Mixed-oxidant Applications in Wastewater”, Disinfection 2000, Water Environment Fateration, New Orleans, LA, 2000.

4.黃志彬、袁如馨、甘其銓，建立自來水公司淨水場綜合效能評估制度研究及試行(二) —提升營運智識支援系統運行效益，台灣自來水公司，2007。

作者簡介

甘其銓先生

現職：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系助理教授

專長：淨水技術、溫泉資源管理

萬孟瑋先生

現職：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系助理教授

專長：環境採樣與分析、高級廢水處理技術、超音波氧化脫硫技術

黃俊穎先生

現職：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士生

專長：溫泉循環淨化、環境採樣與分析

林敬涵先生

現職：嘉南藥理科技大學醫藥化學系助理教授

專長：環境採樣與分析、有機化學