

自來水會刊第 29 卷第 1 期目錄



特 載

社會責任之理念與實踐—台水公司實例……………陳福田……………1

實務研究

自來水管不斷水工法應用之探討……………吳陽龍、吳世紀……………12

水源污染調查研究與防治機制之建立……………吳俊哲……………19

利用清水池水位進行出水管漏水量及流量計準確度測試……………鄭答振……………29

二氧化氯作為淨水處理藥劑之可行性評估…許倚哲、林哲昌、許國恩、朱敬平、鍾裕仁……………34

一般論述

光及溫度對聚氯化鋁濃度沉澱物影響之研究……………許國樑……………43

每期專題

水源藻類調查與監控

台水公司水庫水源微囊藻毒含量之調查研究……………

……………李貞慧、吳美惠、張禧麗、廖福全、黃瑞聰、吳美炷、林彥宏、許惠佳……………49

水庫藍綠菌毒素潛勢快速監測技術發展與評析……………

……………林財富、道中敦子、張德威、邱宜亭、吳哲宏……………54

連續流式催化臭氧反應槽分解水相微量2-MIB 效率之研究……………

……………黃文鑑、曾勇霖、賴俊熹、陳道安……………65

他山之石

出席「WATEC Israel 2009會展」及參訪見聞……………蕭宏民、周國鼎……………76

IWA 活動園地

國際自來水瞭望台……………范家瑋……………86

協會與你

中華民國自來水協會第十六屆第四次會員代表大會暨第四十二屆自來水節慶祝大會會議紀錄
……………89

中華民國自來水協會第十六屆理、監事會第十三次聯席會議暨第十六屆第四次會員代表大會
預備會議紀錄……………101

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法……………18

自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、業務報導、專家講座、他山之石、法規櫥窗、協會與您、會員動態、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地等文稿。
- 三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得（包括技術與管理），前述二類文稿請儘量附英文題目及不超過 150 字之中英文摘要，本刊將委請專家審查。「每期專題」由本刊針對特定主題，邀請專家學者負責籌集此方面論文予以並列，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。
- 四、惠稿每篇以三千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限。
- 五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版名：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。
- 六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 tinlai@mail.water.gov.tw，並請註明真實姓名、通訊地址（含電話及電子郵件地址）、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 八、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿 900 元/千字，「業務報導」為 500 元/千字，其餘為 400 元/千字，文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者 400 元/版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 九、本刊係屬贈閱，如擬索閱，敬請來信告知收件人會員編號、姓名、地址、工作單位及職稱，或傳真(02)25042350 會務組。本刊將納入下期寄贈名單。
- 十、本會刊內容已刊載於本協會全球資訊網站（www.ctwwa.org.tw）歡迎各界會員參閱。
- 十一、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會 92 年 3 月 26 日工程企字第 09200118440 號函增列為技師執業執照換發辦法第五條第一項第四款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程科」。

自來水會刊雜誌

發 行 單 位：中華民國自來水協會

發 行 人：廖宗盛

會 址：臺北市長安東路二段一〇六號七樓

電 話：(02)25073832

傳 真：(02)25042350

中華民國自來水協會編譯出版委員會

主任委員

黃志彬

副主任委員

劉廷政

委 員

葉宜顯、盧至人、張怡怡、蘇金龍、吳美惠

吳陽龍、陳曼莉、張廣智、李丁來(兼秘書)

自來水會刊編輯部

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

總 編 輯：吳美惠

執行主編：李丁來

編審委員

鄭錦澤、周珊珊、黃建源、陳孝行、陳志銘

簡俊傑、林財富、洪世政

執行編輯：林正隆

電 話：(04)22244191 轉 514

行政助理：古藜苓

印 刷：松耀印刷企業有限公司

地 址：台中市北區自強街 50 號

電 話：(04)23607717

社會責任之理念與實踐—台水公司實例

文/陳福田

一、前言—Better Water, Better Life

晚近，環保意識高漲、綠色消費觀興起，社會大眾對於企業社會責任(Corporate Social Responsibility, 簡稱 CSR)的要求逐漸提高，促使企業兼顧社會責任與永續發展雙議題。管理大師麥可·波特(Michael Porter)於 2007 年接受《天下雜誌》專訪，強調「社會責任就是企業核心事業策略的一部份」，意謂社會責任與經營策略結合，將是未來企業競爭力的來源。易言之，落實社會責任係確保企業永續發展之嚴肅課題。

吾人皆知，水、空氣與陽光乃人類生存三要素，缺一不可，水無代替品，動、植物

皆賴水維生，足見水之重要性。台灣自來水公司(Taiwan Water Corporation, 以下簡稱台水公司)服務範圍遍及全台，除須提供質優、量足之「自來水」，更應善盡社會責任，冀期成就國際級水事業之標竿企業。

本文首以「Better Water, Better Life」起言，揭櫫自來水係優質生活之不可或缺，末以「Better TWC, Better Taiwan」結語，闡明優質之台水公司係美麗台灣之一環。其餘，先敘社會責任之定義、發展及衡量指標；次就台水公司於「社會面」、「經濟面」、「環境面」分別研提「對人關懷」、「對事盡心」、「對物珍惜」之具體策略、方案。茲將本文架構繪如圖 1。

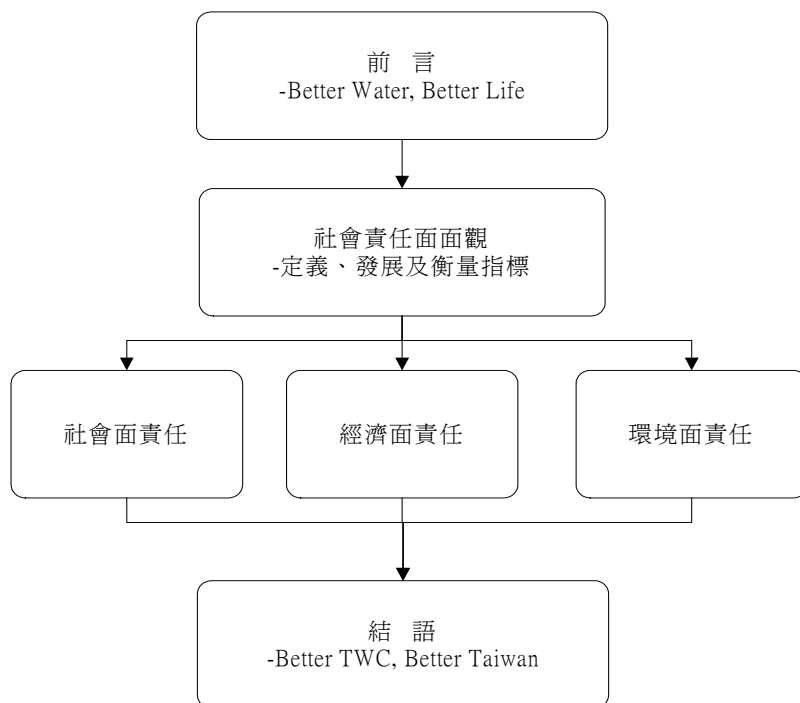


圖 1 本文架構

二、社會責任面面觀

自工業革命以來，世界各國為加速經濟發展，無不積極開發、建設，惟過度的開發造成空氣污染嚴重、森林濫墾砍伐、石油日益枯竭、水資源使用浪費等問題，由而惡化人類生活品質。面對經濟發展與環境保護之衝突，企業與社會共生之觀念油然而起，社會大眾認為企業在追求利潤之餘，亦須肩負其社會責任。

(一)社會責任之定義

雖經國內、外論壇諸多討論，企業社會責任(Corporate Social Responsibility, 簡稱 CSR)之定義，仍然各人言殊。一般而言，社會責任泛指企業營運須達到道德、法律及公眾要求的標準，亦即，商業活動須考慮對其利害關係者造成的影響。其中，利害關係者是指企業決策、行動所影響的個體或群體，包括員工、資本主、消費者、當地社區、生態環

境等。

企業獲得之利潤並不單單來自企業內部之精心經營，亦取決於其與消費者及所處經濟、政治、生態環境等因素之互動，是故，企業欲求永續發展，須關心其內、外在環境。心繫社會責任與遵守企業倫理的企業，才能得到各方支持，創造更多的利潤。

隨著永續發展觀念的提升，學者、各研究機構對社會責任之定義，分別詮釋如表 1。

審視各學者、研究機構對社會責任之定義，考量台灣企業經營環境及兼顧全面性，本文參採世界企業永續發展協會(World Business Council for Sustainability and Development, 簡稱 WBCSD)對社會責任之定義，即社會責任係指：「企業承諾持續遵守道德規範，為經濟發展做出貢獻，並且改善員工及其家庭、當地整體社區、社會的生活品質。」

表 1 社會責任之定義

學者/研究機構	時間	社會責任之定義
Bowen	1953	企業主的義務是追求所有符合社會價值觀與滿足社會的所有活動
Joseph Mcguire	1963	公司不僅負經濟性及法律性責任，還應對社會盡一些其他的責任
Friedman	1970	企業的社會責任就是增加利潤
Davis and Blomstrom	1975	決策者在追求自我利益時必須採取行動以保護和促進社會福祉
Carroll	1979	社會在某既定時間對組織的期望，包括經濟性、法律性、倫理性與自發性的期望
Wood	1991	企業與社會互動的基本理念同時提出三項原則：制度層次的合法性、組織層次的公共責任和個人層次的管理自主等原則
世界企業永續發展協會(WBCSD)	2000	社會責任是企業承諾持續遵守道德規範，為經濟發展做出貢獻，並且改善員工及其家庭、當地整體社區、社會的生活品質
歐洲聯盟 (EC)	2001	企業將社會及環境的顧慮整合到其營運之中，並且與其利害關係人的互動是基於自願的一種概念

資料來源：蕭怡真(2007)，企業綠色實務與組織績效之關係研究—以企業社會責任之態度為干擾變項，pp8-9。

(二)社會責任觀念之發展

社會責任之思想源於 1950 年代。隨著時代背景變遷，人們對於社會責任之意義亦有不同的看法。亦即，在不同的時代，社會責任不斷地被賦予新的意涵。

往昔，企業唯一的目標與義務就是獲利，因此企業僅須遵守最基本的法律即可。在傳統社會中，企業經營者對於所謂的「社會責任與倫理」並無很明確的概念，大多是抱持「取之社會，用之社會」之觀念回饋社會。

而後，社會大眾認為企業的社會責任應該超越獲利與遵守法律的層次，認為社會責任乃是超乎經濟性、法律性責任之上的自發性行為。但在大多數國家中，社會大眾與企業經理人雖皆認為企業的社會責任與倫理很重要，但往往因為需投入額外成本而不重視。

潘文章先生於其大著《企業管理》，將社會責任之發展歸納為三階段，茲略述如下。

- 1.1890 年以前，企業肩負的社會責任，主要在於「資本主」之個人道德觀念及公正態度。此階段的企業，規模較小，且所有權和管理權尚未分離，此即第一階段之「商人時代」。
- 2.十九世紀末至第二次世界大戰，由於經濟發展與技術進步，企業之經營由原來的個

人模式走向集體經營模式，所有權和經營權逐漸分離，專業管理人員漸漸出現，在此階段，企業對社會肩負之責任係專業「管理者」應爭取最大利潤，使經濟資源達最佳運用，此即第二階段之「商業時代」。

- 3.二次世界大戰迄今，社會大眾認為，企業不僅是獨立個體，更是社會之一員，如同一般公民，應善盡其良好公民責任。追求利潤並非最終目的，「企業」應能增進社會福祉，此即第三階段之「企業時代」。

綜上，社會責任觀念之發展已由「個人」之道德行為擴展至對社會「整體」利益之考量。

(三)社會責任之衡量指標

社會責任之衡量與評等，有其困難。首先，社會責任至今尚無一清楚、明確之定義，造成企業在執行內容與項目上之難以取捨，其次，社會責任與「人」具有高度相關，因此，社會責任之內涵，常因風俗習慣、社會文化與個人差異而有所不同。

早期，各評量機構與媒體評量企業的社會責任，大多偏重於社會責任的某一特定範疇，側重於企業對污染防治的表現。然而，企業在污染防治的表現，無法代表企業對於「整體」社會責任之態度。隨著國際對社會責任認知的改變，社會責任的評量指標逐漸趨於完整，由表 2 可知，各評量機構試圖涵蓋社會責任的所有範疇，惟無一定論。

表 2 社會責任之衡量指標

評量機構	採用指標
FTSE4Good	環境、社會、利害關係人、人權、供應鏈勞動標準、反賄賂
GRI	環境面、社會面、經濟面
KLD index	社區與公益、文化多樣性、人力資源、環境、非美國人經營、產品與服務、其他
OEKOM	環境的永續、社會的永續、文化的永續
天下雜誌	環境保護、社會參與、教育文化
遠見雜誌	環境績效、社會績效和財務績效
中華民國永續發展協會	社會面、經濟面、環境面

資料來源：蕭怡真(2007)，企業綠色實務與組織績效之關係研究—以企業社會責任之態度為干擾變項，pp 14。

為兼顧國際的標準與規範，並考量台灣地區之特性，經濟部投資業務處於 2004 年委託中華民國永續發展協會，建立一套適用於台灣之社會責任評等架構。此架構考量了國內、外各種評量系統的優、缺點及其應用方式，並將調查項目依全球永續性報告協會（Global Reporting Initiative，簡稱 GRI）之分類標準分為三大類，即「社會面」、「經濟面」、「環境面」。其中，社會面涉及一般政策管理、員工關係與人權；經濟面涉及公司

治理、策略規劃、風險與危機處理；環境面涉及生態效益、環保措施等相關議題。

(四) 台水公司之內、外部利害關係者

台水公司非遺世獨立，而係與其內、外部利害關係者保持高度互動之開放系統（Open System），亦即，須與內部之員工、資本主(政府)，以及外部之消費者、當地社區、生態環境互動並對其負責。茲繪示台水公司之內、外部利害關係者如圖 2。

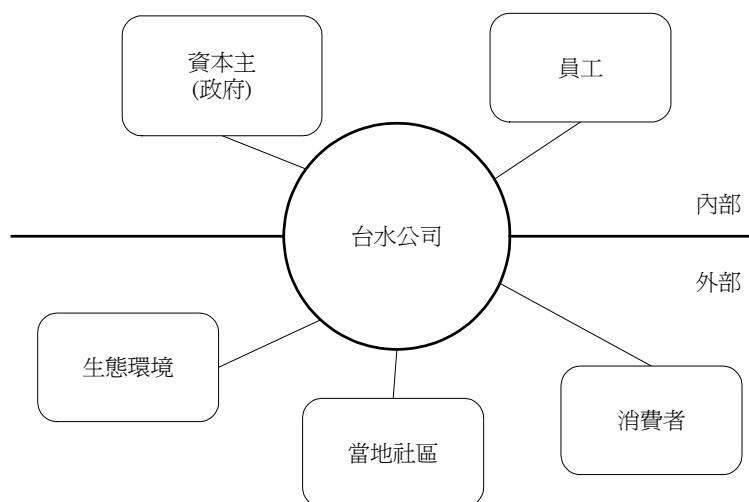


圖 2 台水公司之內、外利害關係者

(五)台水公司於社會面、經濟面、環境面之社會責任

本文參採中華民國永續發展協會所訂三大分類標準，闡明台水公司對其利害關係者之責任。詳言之，台水公司於「社會面」，對員工、消費者、當地社區主張「對人關懷」；於「經濟面」，對資本主(政府)、消費者負責，冀求「對事盡心」；於「環境面」，對生態環境落實「對物珍惜」。茲將台水公司對各構面之相關議題、利害關係者、原則及策略列於表 3。

三、對「人」關懷之社會面責任

三十多年來，台水公司致力於民生及工

業用水之供應，供水管線深入台灣的每一個角落，與 2,300 萬同胞的生活緊密結合。難能可貴的是，台水公司積極參與社會公益活動，如贊助弱勢團體公益、體育文康、宣導節約用水等活動。台水公司奉「社會所欲，常在我心」為圭臬，時刻心存為相關利害關係者創造價值。對組織內部員工提出「與時俱進之人力發展」策略；對弱勢者提出「無自來水地區供水之改善」、「管線已到達地區新裝用戶之推廣」；對消費者研提「感動顧客之服務」等策略，在在展現台水公司對利害關係者之關懷，主動善盡「社會公民」責任。

表 3 台水公司善盡社會責任之策略

社會責任之構面	相關議題	利害關係者	原則	策略
社會面	一般政策管理 員工關係 人權	員工 弱勢者 消費者 當地社區	對「人」關懷	<ul style="list-style-type: none"> ● 與時俱進之人力發展 ● 無自來水地區供水之改善 ● 管線已達到地區新用戶之推廣 ● 感動顧客之服務
經濟面	公司治理 策略規劃 風險與危機處理	資本主 (政府) 消費者	對「事」盡心	<ul style="list-style-type: none"> ● 落實公司治理 ● 充實備源備載能量 ● 確保水質優良 ● 多元化水源開發 ● 降低漏水率 ● 強化緊急應變機制
環境面	生態效益 環保措施	生態環境	對「物」珍惜	<ul style="list-style-type: none"> ● 落實綠色採購 ● 推動綠色生產 ● 加強綠色行銷 ● 導入環境會計

(一)與時俱進之人力發展

在知識經濟社會中，影響企業成敗之關鍵因素，不是「物」或「事」本身，而是「人」——一群能夠取得、應用知識的「知識工作者」。台水公司就人力資源予以適當之確保、開發、維持與活用。易言之，對於知識工作者之管理，乃是引導、鼓勵和支持其各盡所能，有效發揮其知識與能力，透過「跨領域學習」與「跨文化溝通」，經由「終身學習」，鞏固自來水專業基石。

(二)無自來水地區供水改善

自來水的發展擴充，隨著普及率之提高，供水逐漸延伸到鄉村偏遠地區，且水源之開發亦日愈困難，造就「規模不經濟」的現象。例如管線延伸而增加維修費用、工程施工遭民眾抗爭須給付高額補償費，導致邊際成本遠高於邊際收入。

爲了提高普及率或改善特定地區的供水，許多投資都是基於政策性、社會性的考量，其經濟效益甚低，如偏遠地區以及離島之供水等。例如，在澎湖一度水只收十元的水費，但對台水公司而言，當地成本卻超過台幣九十元，這是對弱勢用戶的心意與關懷。

「改善無自來水地區及原住民偏遠部落供水」、「提升管線末端及地勢較高供水品質」，皆係台水公司體恤弱勢族群之表現。茲將相關計畫說明如下。

1.無自來水地區供水改善計畫

估計偏遠地區仍有 55.6 萬戶尚無自來水。其中，部分地區雖離自來水系統不遠，但因居民無力負擔配水幹管費用，而飲用水質或水量較不穩定之其他水源，致常四處陳請協助，因此，台水公司釐訂「無自來水地

區供水改善計畫」，分年分期辦理無自來水地區自來水延管工程，改善無自來水地區民眾生活品質與健康水準。

2.原住民地區部落水資源規劃及供水計畫

全台列爲山地原住民鄉計有 30 鄉，另有 25 個平地原住民鄉（鎮、市），合計總人口數約 81 萬 2,703 人(原住民人口數約 28 萬 6,985 人)。經調查結果，須興設或改善簡易自來水之部落仍多，亟待籌應對策解決，故配合原民會策訂專案計畫，確實改善原住民飲用水品質，並提高原住民地區自來水普及率。

(三)管線已到達地區新裝用戶推廣

針對自來水管線已到達地區未接管住戶，台水公司積極協助接用自來水，以保障其飲水安全，善盡社會責任。針對供水管線已到達地區而尚未接用自來水之住戶，台水公司以主動加強宣導推廣用戶，加速提升接水普及率。

爲減輕距配水管線較遠之住戶工程費負擔，台水公司對鄉村漁戶視現場予以機動調整表位，以縮短外線長度。一般住戶每戶外線長度超過 40 公尺以上部分，給予減半計收之優惠。

另外，對已設籍個別住戶，若其經濟困難，可依「用戶申請裝設用水設備外線工程分期付款處理要點」規定，在取得既有用戶保證之前提下，申裝工程費給予分期付款（分六期，二個月爲一期）。

(四)感動顧客之服務

用戶對自來水的需求已由「生理層次」的需求，進一步企求「心理層次」的滿足。過去強調「量足、質優」之供水雖能滿足用戶生理需求，惟不足以讓顧客「心」生感動，

「體驗行銷」是一劑心靈良藥。

台水公司體認，以感性體驗為訴求的同時，尚須以讓顧客滿意的產品功能與品質為後盾；沒有滿意的產品功能與品質，難以創造體驗價值。易言之，「量足、質優」是必要的前提，同時，注入「體驗」價值，創造用戶愉悅的消費經驗，才能征服用戶的心。

為落實「感動顧客」、「超越顧客滿意」之顧客價值主張，基於「體驗」新典範，將公司現有具備觸發「體驗」價值的行銷資源加以統整，冀期為台水品牌展示新頁。

四、對「事」盡心之經濟面責任

自來水建設屬公共建設之一環。短期而言，具誘發民間投資、提高經濟成長率、創造就業機會之效果；中長期而言，更可透過基礎公共設施的充實，厚植產業生產力、強化國家競爭力。台水公司為國營企業，主要股東為政府，於經濟面之責任不應只注重公司盈餘，而應落實公司治理並加速完成各項供水相關計畫，以對政府、全民負責。台水公司陪伴國內民生與產業一同成長、發展，以積極的態度、創新的作為，全力加速自來水公共建設現代化，對全民有益之事皆盡心盡力完成，採取如后之相關策略。

(一)落實公司治理

公司治理是一種指導與管理的機制，透過法律之制定，有效監督組織活動，防止代理問題及脫法亂序之行為發生，以落實公司經營者責任為目的，在兼顧其他利害關係者利益下，藉由加強公司績效，保障股東權益，茲分述如下。

1.強化董事會機能

遴選公正、客觀、專業的董事，善盡監

督之職能，檢查和指引公司重大策略，監視執行情形和公司績效。避免內部董事的利益傾向與經理人一致，形成一言堂，引進外部獨立董事，借重其專業，客觀地履行監督與評估之職能。

2.發揮監察人功能

監察人適時行使監察權，並本於公平、透明、權責分明之理念，確實監督公司之財務業務，冀期避免損及股東權益。

3.資訊透明化

資訊之揭露乃公司治理之重心，用以減少資訊的不對稱，滿足民眾「知」的權利，坦然接受外部監督。除重視財務資訊之揭露，亦強化非財務性資訊，如年度績效之檢討、中長期經營策略、投資計畫等，冀能贏取民眾之信賴。

4.執行內部檢核

內部檢核係強化公司治理之基礎工程。經由年度計畫之檢查、覆核內部控制制度之缺失、衡量營運之效果及效率，冀期確保內部控制制度得以持續有效實施，從而建立公司之股東、董事會、經營管理者、與其他利害關係者之共利價值機制。

(二)充實備援備載能量

近年來，溫室效應導致氣候異常。以地表水為供水主要來源的台灣而言，降雨時間之分佈不均日趨嚴重。夏季豐水期，洪水挾帶土石流，使原水濁度驟增，導致「有水不能用」的窘境；而冬季枯水期，降雨量不足，造就部份地區之缺水情事，此種「旱澇不均」之現象加重台水公司穩定供水之壓力，因此，台水公司加強供水系統備援備載能量，淨水場必須有足夠的備載淨水能力、供水設施必須有備援管線與加壓設備，當狀況發生

時，馬上可以利用備載備援設施調度供水，而不至於停、缺水。

(三)確保優良水質

民眾對水質之要求日益提高，政府主管機關為此訂定更嚴格之水質標準，修正「飲用水管理條例」，行政院環保署依該條例研擬「飲用水水源水質標準」，規定未符合所訂水源水質標準者，須採取改善措施或高級淨水處理。

為因應水源水質惡化及日益嚴苛之水質標準，台水公司除建置現代化處理設備、強化水質監測、檢測與內控管理外，更「從源頭著手」，減少水源污染，以確保飲用水水源之安全與衛生。

(四)多元化水源開發

傳統的觀念總認為自來水是「自來之水」，供應越多越好，惟大舉建造水庫、開發新水源，相伴而來的是環境生態之衝擊。面對此「能源氣候年代」新紀元，台水公司基於「永續經營」觀點，一方面體認水資源是有限、寶貴的資源，落實節約用水，加速汰換老舊管線；另一方面基於「永續利用」之思維，規劃前瞻性、整體性的「多元化水源開發」計畫。

目前，原水主要取自川流水、地下水及水庫等傳統水源，惟存在大部份逕流入海、地下水已超抽及水庫調蓄能力不足等現象，致傳統水源穩定性不足。易言之，台水公司除持續推動辦理各項天然水資源（水庫、攔河堰、地下水）開發，亦積極推動海水淡化廠、廢污水回收再利用等「多元化水源開發」，冀期達成「不缺水」之使命。

(五)降低漏水率

在缺水危機日亟的台灣，因「開源」（開

發新水源)相對不易，故「節流」益顯重要，因此降低漏水成為當務之急。台水公司配合行政院「振興經濟新方案」，奉行政院核定「加速辦理降低自來水漏水率及穩定供水計畫」(98~101年)，挹注特別預算 198 億元，其中降低漏水率部分為 108 億元，加上公司自籌 164 億元，合計共 272 億元，不僅可提供就業機會，更可加速降低漏水。

98 年度在台水公司全員努力下，全台實際汰換管線長度約 868 公里，建置完成 100 個小區管網。今後仍須努力不懈、全力以赴，讓漏水率降低至先進國家水準，以減緩日益沈重的新水源開發壓力，期使「青山常在，綠水長流」之生態環境得以永續。

(六)強化緊急應變機制

台灣地區經常發生颱風、豪雨、地震、土石流、地盤沉陷、水污染、枯旱…等災變，原水濁度驟升，自來水事業之設施及營運常突受其害，致須減量供水，甚至暫時停止供水。一旦緊急事件造成供水停止，就可能造成生活上的不便及企業的損失，致民眾怨聲載道，亦影響經濟發展。

為因應自然環境之變遷，台水公司強調由事後的危機處理，轉變為事前的風險管理，意謂「多一分風險管理，少一分危機處理」。亦即，預防勝於治療。除了透過防災教育訓練、緊急應變演練，以及防災業務整備等做好平時的準備外；汛期前，更加強取水設施檢查、污泥消除、備用發電機具整備、高濁度藥品儲備等，列為防汛前最重要的工作。易言之，台水公司依「規劃—執行—查核—改善」(P-D-C-A) 之管理循環，制訂災害防治計畫、事件應變措施，並落實回饋機制。

展望未來，台水公司面臨之經營風險更嚴峻，風險管理之落實更形重要，除須提昇整體水質處理技術、增加應變的備載容量，以增加應變的彈性外，並應逐步提升預防、整備、應變及復原等各階段能力，落實風險管理機制。

五、對「物」珍惜之環境面責任

2008 年 9 月，《紐約時報》專欄作家佛里曼(Thomas L. Friedman) 新作《世界又熱又平又擠》(Hot, Flat, and Crowded) 問世，一時洛陽紙貴。該書指陳「世界又熱又平又擠」，亦即，在這個氣候炎熱、資訊平權而人口擁擠的世界，能源、水、土地等自然資源，都將耗用殆盡，每個人終須為氣候變遷、物種滅絕、能源赤貧，付出慘痛的代價。申言之，一方面「地球是平的」，世界已成地球村，以往是「彼鄰若天涯」，如今是「天涯若彼鄰」；另一方面「世界又熱又擠」，近年溫室效應致使天候異常，如美國佛州的颶風與水災、如大陸的雪災與地震、如台灣密集的颱風與暴雨，均是前所未見。

鑒於上述環境問題日趨嚴重，台水公司建構「研發創新、採購、生產、行銷、會計、回收處理」之全方位的綠色主張，明訂 2012 年「善盡環保責任」目標之生態效益指標(Eco- Efficiency Index)，即(一)辦公室用品綠色採購達 91%(二)每人每日用水量 256 公升(三)建置大型淨水場環境管理系統 ISO14001 驗證 8 處。

基於「環境永續發展」的觀點，台水公司分由「投入(Input)、處理(Process)、產出(Outputs)、回饋(Feedback)」等四個子系統，揭櫫「台水綠色承諾(TWC Green Solution)」，倡導資源節約，其具體作法如下。

(一)落實綠色採購(投入面)

行政院於 90 年 7 月 18 日核定「機關綠色採購推動方案」，訂定年度環保產品採購目標比率，自 91 之 50% 提升至 98 年之為 88%。台水公司為國營事業的一員，肩負國家經濟發展、民生福祉之政策任務，為善盡社會責任，台水公司當配合政府「落實與執行綠色消費」政策，一方面，經由綠色消費模式，創造綠色市場，發揮保護環境之成效；另一方面，順應綠色採購風潮，善盡社會責任，冀期提升企業形象。

(二)推動綠色生產(處理面)

為提升台水公司淨水場之操作效能，運用綜合效能評估技術，對淨水場設計、管理、操作及維護等面向，進行檢視及分析，鑑別淨水處理水質良窳原因，並檢討現有淨水設備功能，以期達到良好效率，減少非必要設備投資，所提相關計畫如下述。

1. 營運效能評估及輔導(OPEE)

台水公司建立適用於淨水場的「營運效能評估及輔導(OPEE)」系統，藉由資訊化平台的建置，整合淨水場設計、管理、操作、維護資料，經系統化、標準化、合理化、資訊化作業，傳承與台水公司淨水場操作管理相關之智慧資產。

2. 推廣綠色工法

目前世界人口已達 60 億，且大幅往大都市集中。人口密度大，致生活環境、生態、自然環境與文化遺產破壞嚴重；廢棄物處理不當，致大氣、土壤與水環境污染擴大。又因經濟快速成長，資能源需求加劇，工業化過程大量排放二氧化碳，加速地球暖化。

依洛桑管理學院 2007 年國際競爭力評比資料，台灣整體競爭力為 55 個國家中的

第 18 名，但在二氧化碳排放量指標卻排名第 37 名，各項資料都顯示我國在減少二氧化碳方面尚有相當改進的空間。

為善盡地球公民應盡的環境責任，台水公司於公共工程規劃設計、施工、營運操作等各階段，積極落實節能減碳政策，採取(1)汰換舊有管線(2)使用回收材料代替傳統建材(3)減少工地施工汙染(4)配合政策推動綠建築制度(5)使用太陽能或 LED 照明設備(6)落實「推動辦公場所節約能源實施計畫」等措施。

3.推動 ISO 環保驗證

為提升公司形象暨淨水場永續經營，台水公司針對每日出水量 10 萬噸以上大型廠持續推動 ISO14001 驗證，目前澄清湖給水廠、鯉魚潭給水廠、南化給水廠、拷潭給水廠已通過驗證。

以符合 ISO14000 標準為架構，並參酌其他環境管理相關標準，結合台水公司現行管理制度，台水公司更規劃並輔導建立 ISO14000 管理制度，通過 ISO14001 驗證，找出環保問題的原因予以解決，以預防污染的方法來節省開支，並塑造良好的工作環境。

(三)加強綠色行銷(產出面)

水資源為民生的命脈，亦為國家經濟發展的原動力。在可見的未來，台灣可能面臨嚴重的缺水危機。台水公司除持續提供量足、質優之自來水外，自 98 年起已確實執行如下「2008 年~2012 年積極推動節約用水計畫」，冀期早日實現「節水型社會」之理想。

1.宣導節約用水

除透過「推廣民眾換裝省水器材」、「善

用媒體及廣告進行宣導」及各項「珍惜水資源活動」，喚起民眾節水意識及落實節水教育紮根活動外，並透過全台十二個區管理處，持續推動及辦理參觀淨水場認識自來水活動，並配合各地方、學校、機關，辦理節約用水宣導。

2.推廣電子帳單

因應網路 e 時代，台水公司於 96 年開辦「電子帳單、電子收據服務計畫」，以減少紙張印製、郵寄成本。本計畫於 98 年元月完成建置，提供電子繳費通知、連結網路繳費、定期扣繳（代繳）用戶電子收據，以及未繳提醒通知、水費扣繳結果、停水拆表前通知、水號變更通知、用水量異常通知等多項增值服務，冀期提升服務品質，響應環保政策。

為營造無紙化生活環境，台水公司與社會大眾一齊隨手做環保，因為「少一份紙本帳單、多一分環境綠化；攜手做環保，愛護地球。」

台水公司亦呼籲 613 萬用戶一齊節能環保，只要上台水公司網站點選「電子帳單」，申請加入電子帳單會員，即可享有貼心的 e 化服務，讓收帳單、看帳單、繳水費更便利，不必親臨櫃檯，在家就可以掌握帳單資訊。

(四)導入環境會計(回饋面)

為提供台水公司環境財務資訊蒐集與揭露規範，乃以「對現有會計與運作制度影響最小」為原則，積極導入環境會計系統，以契合國際潮流。其導入重點有二，一是相關會計、財務、環安與資訊等部門人員的教育訓練；另一則是依據公司現行制度，將環境會計科目納入或附加於現有的會計帳表系統中。導入環境會計可將台水公司經營層

面或部門所產生的環境保護的資訊，加以蒐集及分析，從而協助管理決策。

六、結語—Better TWC, Better Taiwan

「水」為關鍵資源之一，有水斯有未來(No Water, No Future)。台水公司身為國營事業的一員，除當有效善用有限的水資源，亦須保育環境、降低環境衝擊、善盡社會責任。台水公司力行社會責任並非宣傳口號，而是透過實際行動回饋其利害關係者，亦即，分就「社會面、經濟面、環境面」研提具體策略及方案。在社會面，關心內部員工、弱勢族群，主張「對人關懷」；在經濟面，配合政府政策、促進經濟發展，並對消費者提供「質優、量足」之自來水，冀求「對事盡心」；在環境面，台水公司執行綠色策略、降低環境污染，落實「對物珍惜」，冀期展現新時代、高績效的自來水經營新風貌，讓台水公司之金字招牌，於歷史長河中永遠光輝燦爛。

民眾對自來水先求其「有」(量足、穩定供水)，次求其好(質優)，終求其「美」(服務好)。為提供「量足、質優、服務好」之自來水，台水公司秉持「品質(Quality)、創新(Innovation)、信賴(Credibility)、專業(Knowledge)」(即 QuICK，寓涵效率、快速的服務)之經營理念，做到「關懷顧客，堅持品質；關懷同仁，堅持發展；關懷社會，堅持貢獻」，藉由現代化的精緻管理，提供更優質之自來水與服務。易言之，台水公司當不負「政府」付託、符合「社會」期許及實現對「用戶」承諾，善盡「對人關懷、對事盡心、對物珍惜」之社會責任。因為，我們深信：「優質之自來水公司係美麗台灣之一環」。

參考文獻

- 1.王哲祥(2004)，社會資本與企業社會責任之研究，國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文。
- 2.吳韻儀(2007)，企業社會責任 領先者的策略，天下雜誌(第367期)。
- 3.莫冬立(2006)，追求典範：企業社會責任評等系統的發展與應用，證券櫃檯(第122期)。
- 4.潘文章(1992)，企業管理，台北，三民書局。
- 5.蕭怡真(2007)，企業綠色實務與組織績效之關係研究—以企業社會責任之態度為干擾變項，東吳大學企業管理研究所碩士論文。
- 6.Abigail M ,and Donald, D.(2000), “Corporate Social Responsibility and Financial Performance : Correlation or Misspecification ?”, Strategic Management Journal, Vol. 21.
- 7.Wood, D.(1991), “Corporate Social Performance Revisited”, Academy of Management Review, Vol.16.
- 8.Zhu, Q.H, Sarkis, J.(2004), “Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises”, Journal of Operations Management, Vol. 22,.

作者簡介

陳福田先生

現職：台灣自來水股份有限公司總經理

專長：自來水規劃、設計、施工及策略管理

自來水管不斷水工法應用之探討

文/吳陽龍、吳世紀

一、前言

國內自來水管線汰換施工多採用傳統式斷管停水之施工方式，不僅承受停水時間長、施工污染風險高等不確定因素，同時造成寶貴水資源之浪費，值此國內大力推動自來水老舊管線汰換及節能減碳之際，傳統停水施工導致居民用水中斷之次數及頻率以及浪費之水資源亦與日俱增，影響民眾觀感，再者大口徑幹管之停水施工影響範圍既廣且停水時間又長，造成間接成本增加及影響事業單位形象，值思檢討改進。

不斷水工法於管線汰換施工時毋須斷管且不中斷供水，具有節省水資源及民眾用水不受影響之優點，可降低社會成本、減少施工水污染事件，在不影響市民作習之情況下即完成老舊管線汰換作業。臺北自來水事業處於 92 年起首次自日本引進該工法，迄今 6 年餘，不斷水工法解決諸多管線工程無法止水之問題。本文除簡介不斷水施工相異於傳統工法之處外，並探討該工法近年來應用於臺北市之情形及其所面臨之問題，並以臺北自來水事業處於信義路施作之 $\phi 600\text{mm}$ 不斷水工程為案例，提出檢討改進之對策及作法，以作為日後之參考。

二、不斷水工法簡介

(一)不斷水工法與傳統工法之比較

傳統斷管施工方式必須關閉制水閘中止供水，不僅造成民眾不便且影響生活作息，且傳統工法之開放式斷管、抽排水等施工步驟(如圖 1)，不但造成水資源浪費，且斷

管後工作井內積水混雜土砂，常導致污水漫流污染週邊環境，又管外污水流入管內之施工污染問題也偶有發生。

不斷水工法於管線密閉條件下完成斷管施工，不影響居民用水，開挖範圍小，不需於工區抽排水，工地易保持清潔整齊(如圖 2)，施工效率高。



圖 1 傳統工法之斷管施工示意圖



圖 2 不斷水工法之斷管施工示意圖

(二)不斷水工法增設分歧管

不斷水分歧管工法施工步驟(詳圖 3)如下：

1. 安裝鞍帶丁字管及操作閘於既設本管上，確認制水閘全開並將穿孔機安裝於閘後短管。



2. 操作穿孔機緩緩插入，於本管上穿孔。
3. 穿孔機穿孔完成後退出，關閉制水閥。
4. 拆除穿孔機，於制水閥後方銜接分歧部之配水管，完成後即可開閥通水。

(三)不斷水工法增設蝶閥

不斷水增設蝶閥施工步驟（詳圖 4）如下：

1. 將蝶閥鞍帶裝設於本管上，進行水壓試驗，確認鞍帶與本管緊密結合不透水後，安裝作業閥及穿孔機。
2. 開啓作業閥，開始進行穿孔作業，將穿孔機緩緩向下操作，切割本管，穿孔過程之管內水由鞍帶下方排水閥排出。
3. 穿管完成，切割所產生之鐵屑粉末藉由排水閥管導出。
4. 退出穿孔機，連同本管切片一併取出，關閉操作閥，拆除穿孔機。
5. 安裝閥體插入機。
6. 開啓操作閥，插入閥體並與固定密封，拆除插入機及作業閥，再安裝閥蓋及轉速器等。

三、臺北都會區之應用現況

(一)成本效益分析比較

相較於一般傳統工法，不斷水工法具有許多優點且可靠度高，但國內尚無法全面普及之最主要原因為其直接工程費較高之問題（經費比較分析表詳圖 5、圖 6），經分析比較，400mm 以下口徑，不斷水工法直接工程費大約僅為傳統工法之 2~3 倍，而 400mm 以上口徑之直接工程費激增為傳統

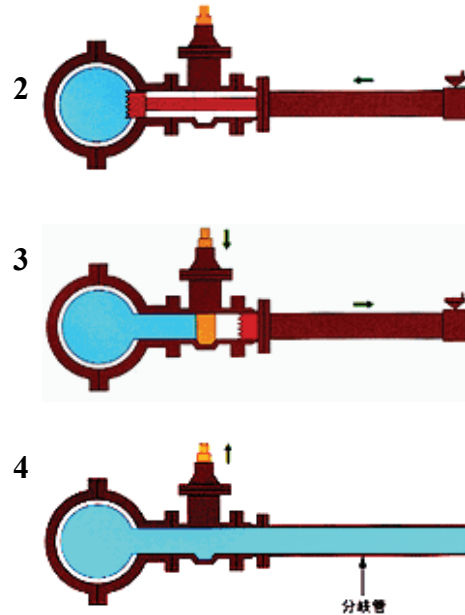


圖 3 不斷水分歧管施工示意圖

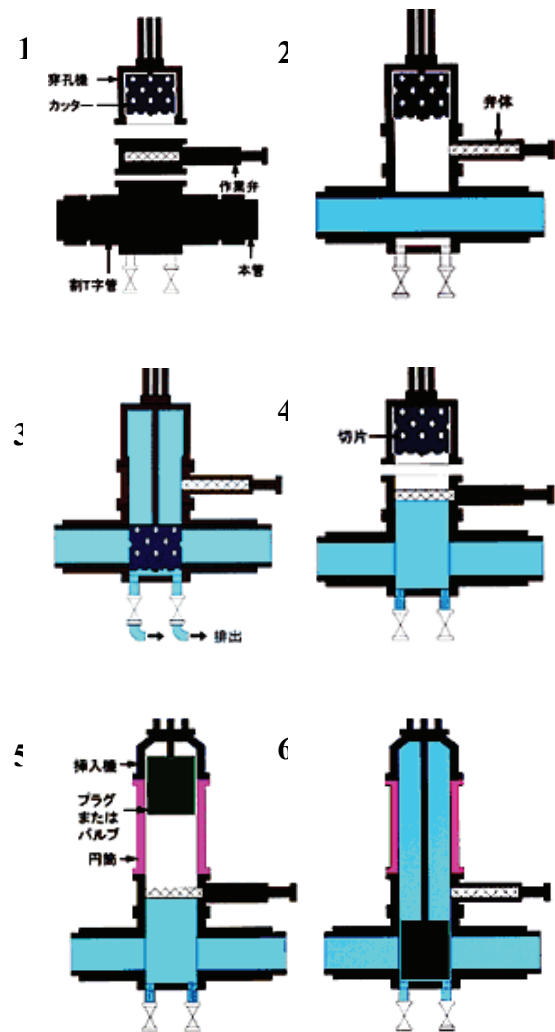
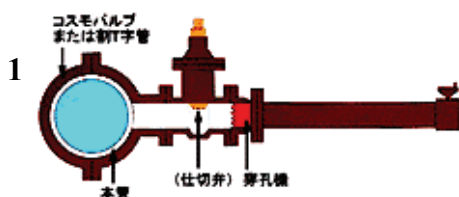


圖 4 不斷水制水閥施工示意圖



工法之 4~5 倍，蝶閥增設工程之直接工程費差距甚至達 6~8 倍，由此觀之，越大口徑之不斷水工法其直接施工費確實偏高。

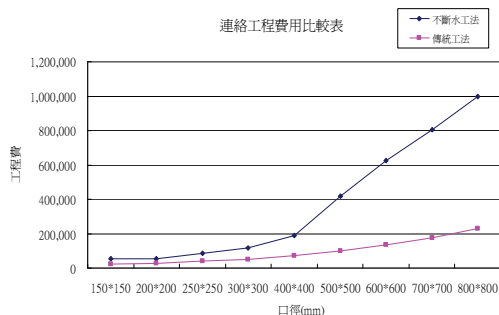


圖 5 連絡工程經費比較

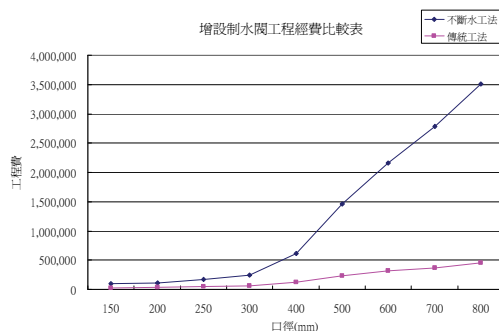


圖 6 增設制水閥經費比較

但傳統斷水工法之連帶間接工程費包括：試關水、開挖範圍大、抽排水等所增加之施工成本，經分析初估約為直接施工費之 2~3 倍，換言之，閥栓無法正常止水所導致之後果除增加施工成本外，亦造成整體工程風險之大幅增高，至於社會成本方面，施工污染風險、用戶停水不便以及影響企業形象等，其成本損失更難以估計，僅以直接工程費來比較傳統工法與不斷水工法間之差異，不儘公允客觀；除此之外，傳統斷水施工時常因無法完全止水，在水壓低情況下加強抽水，勉強進行活水作業施工，如此情況下，其施工時間、成本、難度以及工程風險實遠高出許多，確實應該謀求更有效之改善之道。

傳統工法直接成本雖較低，但若將上開社會總體成本納入考量，則不斷水工法確實值得推廣應用，且一旦不斷水工法普及化之後，直接工程費應能進一步下降，更具有競爭力，促進產業升級，以符合節能減碳之時代趨勢。

(二)應用現況

臺北自來水事業處曾辦理多次自來水管不斷水施工觀摩，讓自來水從業人員對不斷水工法有基本之認識與瞭解，並循序漸進採用不斷水工法，從剛開始試辦、成效評估、正式採用小口徑（400mm 以下）至目前之中大口徑（500mm 以上），已獲得良好之成效。迄今國內包括台水公司及其他科學園區廠房等均已曾採用不斷水工法做為管線更替及維修時之工法選項之一，避免因停水造成民眾不便或工廠停工，且解決許多無法止水之問題，同時促進產業技術升級。

自 94 年起正式推動採用不斷水工法以來，截至 98 年 10 月底止，臺北市都會區不斷水施工案件總計 140 件，其中分支管增設工程 59 件，制水閥增設工程 81 件，其數量統計圖表如圖 7，於分支管及制水閥增設等二種施工項目中，均以小口徑（100mm~400mm）之數量最多，佔 131 件（94%），中大口徑（500mm 以上）佔 9 件（6%），此乃因不斷水工法目前仍為解決無法止水之替代方案，而無法有效止水之最主要原因乃制水閥埋沒或故障，其中小口徑管線採用之小型制水閥盒容易因路面整修遭埋沒，因此，小口徑管線施工時無法止水之問題層出不窮，導致該部分採不斷水工法之比率較高，故其不斷水之件數亦隨之增加；另大口徑不斷水工法之施工機具及材料設備均須



從日本進口，且需要較詳實的調查及先前準備作業，故較難以時配合臨時性之需求，導致大口徑不斷水工法之施工件數較少。

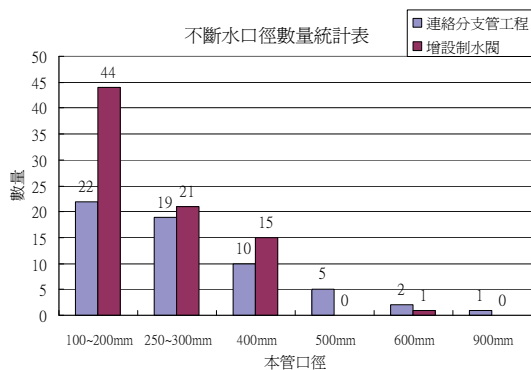


圖 7 不斷水採用數量統計表

(三)施工實例

本施工實例係臺北自來水事業處配合捷運信義線工程辦理之 $\phi 600\text{mm}$ 自來水幹管拆遷，配合捷運施工需求，須多次停水施工遷管導致施工後造成大範圍用戶停水甚至延遲復水等問題。因此，研議增設蝶閥開關以縮小停水區域，倘以傳統斷水工法施工則必須關閉鄰近相關制水閥，將造成市中心大量用戶停水，於是採不斷水工法增設 $\phi 600\text{mm}$ 蝶閥 1 組，完成後也成為國內不斷水工法增設蝶閥之最大口徑施工紀錄。(施工過程詳圖 8~11)

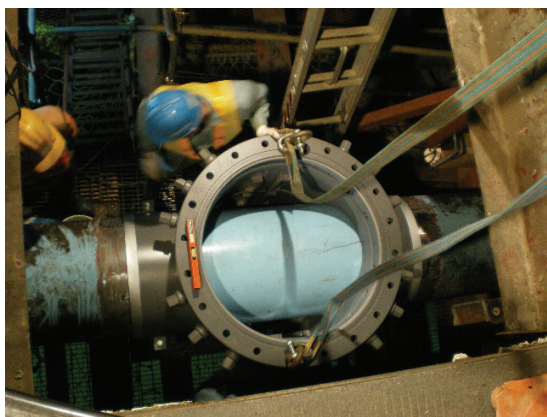


圖 8 安裝不斷水蝶閥鞍帶



圖 9 蝶閥鞍帶試水壓



圖 10 安裝穿孔機及穿孔

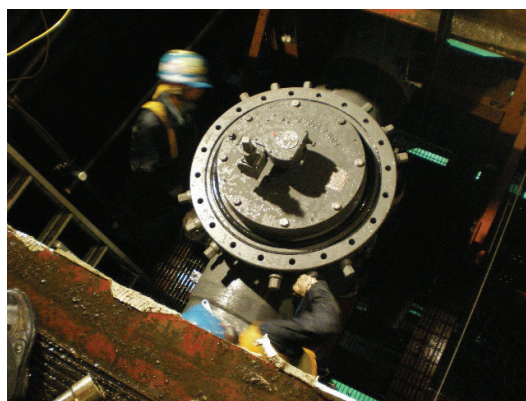


圖 11 安裝蝶閥減速機，完成

四、問題與對策

(一)工程實務之限制

一般傳統斷水工法挖掘較大之工作井作為管內水暫時滯留處再予以抽排水，避免積水溢出工作井，影響周邊交通及環境，不斷水工法雖然不需抽排水，可縮小工作井範圍，但在工地實務上，無論不斷水蝶閥增設

或連絡工程，均須於本管鞍帶上安裝操作閥及斷管機等大型施工機具，本管周邊必須有足夠空間，才不致阻礙不斷水施工機具及材料之安裝作業，因此，相較於一般斷管工法，不斷水工法對於本管鄰近周邊之空間需求較大，一旦遇有障礙，則機具設備無法安裝及施工，因此，施工空間確認為不斷水工法之第一要務，必須先經探挖確認空間足夠後，再進行後續施工作業。國內不斷水施工廠商本身具備小口徑機具及基本備料，均能於探挖確認無障礙後，馬上於當期路證期限內進場施工，能迅速配合施工，足以因應小口徑之臨時性不斷水需求，推展速度也較快。

至於大口徑部分，由於機具投資成本高且市場規模不大，廠商未投資購置機具，機具及材料均須由國外進口，經探挖調查確認無虞後，才開始訂料進口，無法於當期路證期限內施工，必須配合機具材料進口時程，再次申請交維計劃及路證，往往費時數月，所以，大口徑不斷水工法從最初探挖調查至施工完成，往往需耗時半年以上，曠日費時，致使施工數量難以提升，則承商更無意願購置機具，形成惡性循環，無法進一步擴大適用。

針對以上問題，大口徑應於執行年度前先行成立專案審慎規劃探挖、調查妥當後編列預算執行，確認下年度所有可施工之案件，大型施工機具一次進口，多處施工，提高施工效率，如此應能減少大口徑不斷水工法前置作業虛耗的時間，逐漸建立大口徑不斷水工法之施工經驗及技術，發揮其效益。

(二)無法完全解決閥栓問題

臺北都會區自來水管網密集，制水閥數

量多，長久以來存在閥栓失靈故障或迭遭埋沒等問題，雖有定期維護閥栓機制，但受限人力，難以即時全面提昇及檢修完成，常造成日後操作停水困難，以致偶有發生爆管無法立即止水之情況，嚴重響後續施工作業及緊急搶修之應變能力，實為不得不嚴肅面對之課題。不斷水工法雖能解決無法止水之問題，惟因不斷水工法許多施工機具材料均仰賴日本進口，其前置準備時間包括現場探挖、丈量、機具材料訂製及運輸等，耗時較長，非但無法在緊急事故時提供支援協助止水，甚至在現有工程急需不斷水工法協助止水時，也常緩不濟急而無法及時配合需求，造成不斷水工法數量尚未能全面擴大適用。

目前僅在管線工程評估無法止水之情況下，才開始考慮採用不斷水解決，採用時機與核准施作時程不明，尚屬被動性之支援性工法，頭痛醫頭，腳痛醫腳，如此一來，管線閥栓無法止水問題還是難以獲得有效之解決，且嚴重侷限不斷水工法應用之範圍。

因此，未來不斷水工法應改變為主動性之採用機制，有計畫地配合閥栓維護作業，全面性檢討評估管線閥栓，經調查探挖確定現場施工可行性後，即於下年度輔以不斷水工法增設制水閥或連絡工程，不僅可有效改善管網閥栓之妥善率，且能全面擴大使用不斷水工法。

(三)招標方式之限制

目前臺北自來水事業處之不斷水工法招標方式係以年度開口契約之方式辦理發包及施工，由工程主辦單位視實際提出需求並經審核確認後，再通知承商進行施工，是以目前仍處於解決停水問題之替代性工

法，非不得以仍較少使用，於是整體工程技術及施工經驗難以普及。反觀該工法在日本實施多年，其發包之作法亦有別於國內目前之方式，除特大管徑具特殊性之不斷水施工外，他們通常將一般不斷水蝶閥增設或分支管連絡案附屬在一主要工程標案內，而非單獨發包，然後由得標之主要承攬廠商自行選擇不斷水之分包商，業主只針對不斷水之功能做規範，其餘施工技術、材料等部分一概交由主要承攬廠商負責，如此之作法，在不斷水工法使用率已經普及且技術已經成熟的日本，能使主要承攬包商較有施工自主性，同時提升採購效率。國內自來水事業刻正大力推動老舊管線汰換工程，但仍常面臨主要管線汰換工程遭遇無法止水而延宕整體工程進度之問題，若將不斷水工法納入主要工程標案內執行發包，能同時解決發包不順之行政問題及無法止水之施工技術問題，這是一個可以考慮的作法，值得進一步評估參考。

另外，在國內不斷水施工數量尚未普及之際，其施工直接成本確實偏高，偏高之原因除材料機具本身之特殊性外，尚包含日本輸出之技術及裝櫃運送成本。有關施工機具、材料及技術等本身之直接工程成本，透過多一些不斷水工法之廠商競爭，參與本國發包之工程標案競標，能使整體工程單價有所調整，但目前最大之困境為不斷水工法市場規模尚不足以吸引其他日本廠商來台參與競標，因此，值此臺北自來水事業處及台水公司正大力推動管線汰換之際，若能將不斷水工法納入施工之標準作業，如此應能將該工法在台灣普及化，有競爭就有進步，同

時為降低採購成本之最有效方法，最終目標則希望能吸引國內廠商參與並自行研發不斷水之技術，使之在地化，促進整體產業升級。

(四)其他改善對策

現階段如何降低日本輸出機具、材料等之運輸成本，不斷水工法施工除了需採用特殊設計的鞍帶丁字管及制水閥等材料，另需配合不同口徑使用不同的穿孔機、閥心插入機、作業閥及試壓設備等多項特殊工具，均屬重量重且體積大之重型機具，運輸成本高，現階段實務上應盡量採「機具材料一次運送輸入，同一其間依序多處施工」之原則攤平運輸成本，所以必須於事先更詳盡調查不斷水施工需求數量及預計時程，並擬妥施工順序計畫，然後依序一次施作完成，減少進出口之輸送成本。

五、結論

臺北都會區地下管線密佈，閥栓功能老化，止水不易，常遭遇制水閥無法有效止水，致需擴大停水範圍，嚴重影響居民用水權益，隨著國民生活水準提昇，對自來水供水品質及穩定性要求提高，且在此水資源日益枯竭之際，必須優先擇用能符合節能減碳之工法，未來自來水工程採不斷水施工將成為趨勢。

惟目前不斷水工法之主要技術及施工機具均來自日本，未來有待國內二大自來事業單位台灣自來水公司及臺北自來水事業處推廣適用，擴大市場規模，如此除能有效降低採購成本外，更進一步促使國內承商提升施工技術，落實技術本土化，促進自來水產業升級。

參考文獻

1. 「赴日本考察大口徑自來水管不斷水工法心得報告」(2009), 郭瑞華, 吳陽龍, 王銘博, 吳世紀
2. 「不斷水接管工法於台北都會地區之採用執行情形及評估」(2003), 林尚祺
3. 「不斷水連絡及增設制水閥規範」, 臺北自來水事業處
4. Design Criteria for Water Supply Facilities (1990) . Japan Water Works Association. JAPAN
5. Production Introduction. Cosmo Koki Co., Ltd. JAPAN.
6. Distribution Valves : Selection, Installation, Field Testing, and Maintenance. Manual of Water

Practices (1996) .American Water Works Association. USA.

7. Water Supply (1994) . Alan C. Twort, Don D. Ratnayaka & Malconlm J. Brandt. UK.

作者簡介

吳陽龍先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊總隊長

專長：自來水工程規畫、設計、施工及工程品質管理

吳世紀先生

現職：臺北自來水事業處工程總隊監工站主任

專長：自來水工程規畫、設計、施工及工程品質管理

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

98年2月10日第十六屆理監事會第十次聯席會議審議通過

一、目的

為鼓勵本會會員踴躍發表自來水學術研究及應用論文，以提升本會會刊研究水準，特設置本項獎勵辦法。

二、獎勵對象

就本會出版之一年四期「自來水」會刊論文中評定給獎論文，最多三篇，每篇頒發獎狀及獎金各一份，獎狀得視作者人數增頒之。

三、獎勵金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣貳萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。
上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

四、評獎辦法

- (一)凡自上年度第二期以後至該年度第二期在本會「自來水」會刊登載之「每期專題」、「專門論著」及「實務研究」等論文，於編譯出版委員會委員推薦或由作者自行提出申請，由編譯出版委員會於每年六月底前召開初選會議，選出 6-9 篇候選論文，再將該候選論文送請專家學者審查 (peer-review)，每篇論文審查人以兩人為原則。
- (二)本會編譯出版委員會主任委員於每年七月底前召集專家學者 5~7 人組成評獎委員會，就專家審查意見進行複評，選出給獎論文，報經本會理監事會議遴選核定後公佈。

五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

- 六、本辦法經由本會理監事會審議通過後實施，修訂時亦同。

水源污染調查研究與防治機制之建立

文/吳俊哲

一、前言

水源污染調查研究與防治機制之建立」，內容主要針對台灣地區四條河川水源（大漢溪、頭前溪、大甲溪及高屏溪）之相關污染的調查，綜合第一年計畫與第二年計畫之差異，第一年主要為(一)蒐集國內外河川水源水質污染的相關案例；(二)國內四條河川採樣數據之分析（基本數據收集與分析調查）；(三)收集監測設備之基本資料。故根據第一年計畫執行之結果，大漢溪水質除受沿岸砂石場及上游石門水庫洩洪之影響外，尚受大溪鎮之民生和觀光遊憩污水的影響；頭前溪水質主要受到沿岸砂石場及竹東、芎林等市鎮污水的影響，尚受竹林大橋上五華工業區放流水之影響；大甲溪水體水質主要受到民生污水、上游地區觀光遊憩污水及沿岸農業廢水的影響；高屏溪水體水質主要受到砂石場、畜牧廢水、垃圾滲出水與生活污水的影響，因此，本年度計畫主要乃檢討第一年所執行之調查及檢測結果，適度修正主要河川（大漢溪、頭前溪、大甲溪及高屏溪）之污染源採樣點及檢驗項目並進行兩季之採樣檢測加以確認；且依據污染調查及檢測結果，藉由所蒐集先進國家採取之因應對策，評估選定各污染項目之監測儀器（包括安裝使用之優缺點、功能範圍與限制、維護保養校正難易及費用評估等），以作為自來水公司在水源污染防治與預警機制之參考，進而強化水源污染防治，以確保取用水源之安全和充分掌握主要取用水源

之污染情況，達到水源污染防治及預警功能，以確保供水水質安全。

二、水源污染案例

1970 年因家庭（主要為合成清潔劑）、工廠及農畜等的廢水排入琵琶湖內，當中的磷酸鹽溶解為磷和氮，經過日照、降雨和水溫變化等環境催化，濃度隨之升高，使得水生藻類與浮游生物日益增多，而引發赤潮（最主要是藻類與鞭藻類），其中以鞭藻類的赤潮具有相當的危險性。日本除了琵琶湖發生洗劑公害外，在 1983 年流經橫濱市戶塚區的河川裡，突然發生鯉魚大量暴斃事件，在經市政府著手追查原因後發現從河水可檢出濃度高達 19 mg/L 的 Polyethylene Oxide（洗劑中的成分）。J.-C.J. Bonzongo et al. (2006)^[1]指出 Carson river 發源於內華達山脈（Sierra Nevada），流經美國內華達州（Nevada）西南部，主要作為工業及民生用水。Carson river 附近有金和銀的礦場，因此，造成 Carson river 出現汞的污染和累積。Benotti et al. (2009)^[2]指出，美國有 4,100 萬人的飲用水含有微量的藥物殘留，濃度約幾個 ppb 到幾個 bbt 不等。美國有 24 個城市的飲用水源受微量藥物污染，包括舊金山、洛杉磯、費城、華盛頓、底特律等地，水中都含有至少一種以上的常見藥物，如止痛藥、抗生素、抗憂鬱劑、氣喘與心臟病藥物、荷爾蒙等，而這些成分大多來自人體的排泄物。除了人體藥物之外，畜牧業與獸醫在動物身上使用藥物與荷爾蒙，也是可能的污染來

源。M. Mkandawire et al. (2005)^[3]指出在德國薩克森穆爾德河 (Mulde river) 附近的廢棄鈾礦場的礦渣水中浮萍的砷含量累積。鈾礦在開採過程中，因為鈾在礦砂中只含 0.1%~0.2%，因此，在萃取鈾礦的過程中會有一些重金屬的副產品 (Fe, Cu, Zn, Cd, Ni, Co)、砷和硫酸鹽流入穆爾德河，造成飲用穆爾德河水源的民眾受到影響，砷濃度介於 180 $\mu\text{g/L}$ ~280 $\mu\text{g/L}$ ，而 WHO 規定 As 在飲用水中的含量要低於 10 $\mu\text{g/L}$ 。R.C. Churchill et al. (2004)^[4]指出在 1985 年澳洲東北方維多利亞的 Reedy Creek sub-catchment 有一個採金礦場，而在 1998 年時檢測採金礦場附近的六個河道的沉積物和水質發現當年採金礦所產生的汞的副產物在 100 年後依舊殘留在河道中。

三、水質污染預警方法

目前水質污染預警方法主要分為四大類：(一)物化監測儀器或系統的使用；(二)生物生理分析及指標監測；(三)生物感測器之使用；(四)衛星遙測影像的使用。on line 量測之水質連續自動監測站主要可區分為三種不同的型態，分別為：流動抽水式 (Flow-through)、直接置入式 (In-situ)、固定式 (Self-contained) 等 (圖 1、圖 2、圖 3)，優缺點如表 1、表 2、表 3 所示。

一般而言，生物的分、生化及生理的變化可顯示環境受何類污染物影響 (即對污染物具專一性)，且敏感度高又容易測定，但較難用來反應生態的變化，故生物指標監測一般需要採用多個不同層次的指標，以達反應整體環境質量和預警環境污染之目的。目前世界各國均趨向於採用生物及生態方法來監測河水或海洋污染，以補化學及物

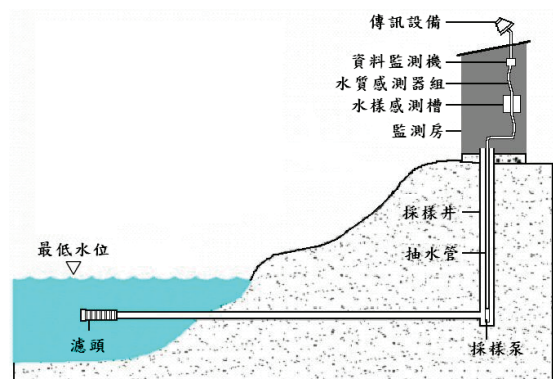


圖 1 流動抽水式自動水質監測站

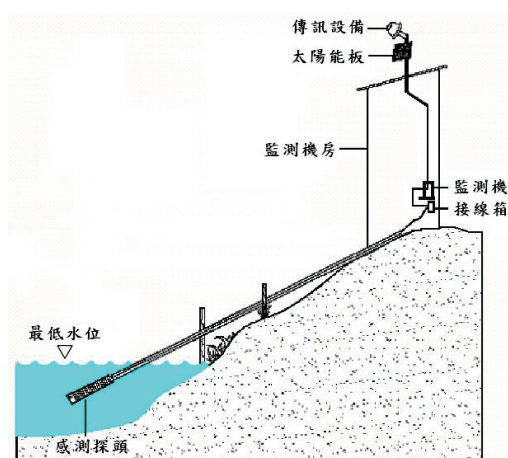


圖 2 直接置入式自動水質監測站

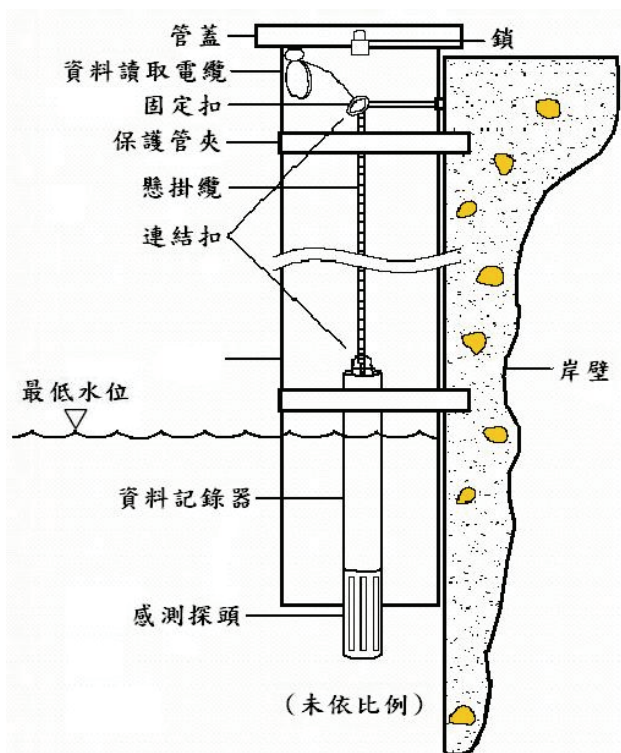


圖 3 固定式自動水質監測站

表 1 流動抽水式自動水質監測站之優缺點

優點
1.單元可以使用加氯機來減少薄膜的阻塞。
2.昂貴的電極系統有較佳的保護。
3.電極校正工作可在機房內進行。
缺點
1.機房需要供應交流電。
2.建造成本較貴。
3.抽水機容易遭水中藻類及懸浮固體物阻塞。
4.需要考慮絕緣的問題。
5.抽水機容易腐蝕，必須經常維護。
6.抽水系統容易引起水質的變異與污染。

表 2 直接置入式自動水質監測站之優缺點

優點
1.不需要抽水馬達的動力。
2.可應用在較偏遠的水域（沒有交流電源供電設施）。
3.所需工作機房之空間較小。
4.不需要維護抽水馬達。
5.漏電問題可以避免。
缺點
1.電極容易損壞。
2.無法避免水流造成之電極膜面阻塞的現象。
3.洪水期間較難進行電極維護。
4.水流量較大時容易造成漂浮雜質影響電極的量測。

表 3 固定式自動水質監測站之優缺點

優點
1.監測站位置選擇較具彈性。
2.監測系統的防護措施較好。
3.沒有漏電的危險。
缺點
1.水質資料的取得必須藉由現場人工的方式進行。
2.必須經常檢查監測設備的狀態。
3.水流量較大時容易造成漂浮雜質影響電極的量測。
4.電池壞掉會導致監測資料的損失。

理參數之不足。香港特別行政區政府環境保護署爲了使水質管理工作更加有效，在實施

其他水質監測計畫的同時進行生物指標監測（2006年香港河溪水質）^[5]，包括：1.魚的肝醣素（EROD）；2.溶酶體（lysosomes）的完整性；3.貽貝體內重金屬和微量有機物質的含量；4.魚類的肥滿度、肝指數和生殖腺指數；5.魚鰭糜爛（fin erosion）和皮膚增生（epidermal hyperplasia）；6.腹足類生物的性變異分析（gastropod imposex）。然而單純從生物體之變化以察覺水體水質的污染程度亦須經過一小段時間才可偵測出受污染的嚴重程度。因此，目前有深具發展潛力的生物感測器可克服此缺失。生物感測器的定義爲使用固定化的生物分子（immobilized biomolecules）結合換能器，用來偵測生物體內或體外的環境化學物質或與之起特異性交互作用後產生回應的一種裝置。生物感測器主要是由生物辨認元件（信號接收或產生的部份）及訊號傳輸元件（硬體儀器部份-物理信號轉換元件）所構成，由傳統酵素電極的概念加以放大，目前舉凡牽扯到生物催化與生物親和力者都可稱之爲生物感測器。且由於科技的自動化及電腦化，傳統的工程測量及資訊管理已逐漸被各種先進的技術所取代，其中最重要的就是全球衛星定位系統（Global Positioning System, GPS）、遙感探測（Remote Sensing, RS）、地理資訊系統（Geographic Information System; GIS）。

四、河川污染源採樣點水質調查

大漢溪水質除受沿岸砂石場及上游石門水庫洩洪之影響外，尚受大溪鎮之民生和觀光遊憩污水的影響。由水質採樣分析結果，可了解大漢溪部份水質檢測項目之濃度值相對偏高（凱氏氮、氨氮、硝酸鹽氮、

COD)，其主要原因可能與上游民生污水的直接排入與動物排泄物及動植物屍體之分解有關，進而造成水體中有機氮的增加。由第二年第二季增測武嶺橋揮發性有機物之結果，其可能遭受事業廢水的污染。頭前溪水質主要受到沿岸砂石場及竹東、芎林等市鎮污水的影響，尚受竹林大橋上五華工業區放流水之影響。由水質採樣分析結果，部份水質檢測項目之濃度值相對偏高（凱氏氮、總有機碳、硝酸鹽氮、COD），而在中正大橋、竹林大橋可偵測到揮發性有機物，可知其雖遭受部份廢水的污染，但所含揮發性有機物之可能性較低，亦或排放量少，經豐水期之河水稀釋後，使其低於方法偵測極限。因此，頭前溪在中正大橋和竹林大橋間受到工業廢水之污染情況（五華工業區），故需持續改善污水下水道之接管率與污水處理系統的提昇，以解決民生污水和事業廢水直接排入河川所造成的污染問題。大甲溪水體水質主要受到民生污水、上游地區觀光遊憩污水及沿岸農業廢水的影響。由水質採樣分析結果，部份水質檢測項目之濃度值相對偏高（凱氏氮、總有機碳、氨氮、COD），其主要原因可能與上游民生污水的排入、動物排泄物及動植物屍體之分解有關，進而造成水體中有機氮的增加。高屏溪水體水質主要受到砂石場、畜牧廢水、垃圾滲出水與生活污水的影響。由水質採樣分析結果，部份水質檢測項目之濃度值相對偏高（濁度、凱氏氮、總有機碳），而在高屏欄河堰、高美大橋、美濃橋亦可測得揮發性有機物，由此可知，高屏溪取水口上游仍受到事業廢水的污染影響。綜合第一年計畫與第二年計畫執行之水質採樣分析結果，可知四條河川水源之

水質皆符合飲用水水源水質標準，且界面活性劑（MBAS）與重金屬（鉛、鉻、鎘、砷、汞、硒）之測值皆為 ND 值（低於方法偵測極限）；然而部份採樣點仍可測得微量的揮發性有機物，故為確保水質安全，未來尚有待相關單位加強取締與監測，以充分掌握取用水源之污染情況。

五、河川污染源監測點之評估

由於監測水體及設置功能的不同，水質自動監測系統在選配儀器、施工方式、建置規模及監測的參數亦有所不同。因此，在選擇適當的水質自動監測系統時，必須先行詳細了解設置地點週遭環境之狀況（土地、電力、自來水等系統），才能有利進行後續水質自動監測系統之設置地點、架設方式『現址監測（流動抽水式、直接置入式、固定式）』、水質自動監測單元組成與基本功能、儀器系統校正與維護之難易的評估。大漢溪各點週遭環境現況之現勘結果，其困難點為無合適之土地，且儀器之分析、校正、維護與保養所需之電力和自來水的取得不易，故自動監測水質採樣方式流動抽水式和直接置入式皆較不適宜；而固定式之架設限制條件（人為方式進行之項目：儀器校正、維護、保養、資料傳輸）較易克服，且大漢溪之基流量充沛，較無短流的情況發生，故大漢溪各監測點仍以架設固定式為主要之方式。頭前溪監測地點以竹東大橋與竹林大橋之環境現況較適合；然就污染預警性及實用性而言，中正大橋與新中正橋兩點之監測點則較合乎經濟效益，且由於因其位置位於主要污染源下游，距離原水取水口尚有一段距離，可提供較佳之污染警訊。於大甲溪各點週遭

環境現況之現勘結果，其困難點為無合適之土地，故於龍安大橋與東勢橋設置自動監測水質採樣方式流動抽水式和直接置入式較不合適；而固定式之架設限制條件（人為方式進行之項目：儀器校正、維護、保養、資料傳輸）較易克服，且大甲溪之基流量充沛，較無短流的情況發生，故於大甲溪監測點（龍安大橋與東勢橋）仍以架設固定式為主要方式。而於長庚橋則因河水量充沛，以

固定式為主要架設方式較不適合，故在長庚橋之儀器架設較偏向以流動抽水式和直接置入式方式為主。於高屏溪各點週遭環境現況之現勘結果，其困難點多以無合適之土地，故於高屏溪各監測點設置自動監測水質採樣方式流動抽水式和直接置入式較不合適，故於高屏溪監測點仍以架設固定式為主要方式。其四條河川各監測點設立與水質監測項目之評估與建議，如表 4 所示。

表 4 自動監測水質採樣方式與水質監測項目之評估

河川	監測點	自動監測儀器設置方式			水質監測項目						
		流動抽水式	直接置入式	固定式	pH	水溫	濁度	溶氧	氨氮	TOC	COD
取水口上游											
大漢溪	坎津大橋			○	○	○	○			○	
	大溪橋			○	○	○	○			○	
	武嶺橋			○	○	○	○			○	
頭前溪	竹東大橋	○	○	○	○	○	○			○	
	竹林大橋	○	○		○	○	○		○	○	
大甲溪	龍安大橋			○	○	○	○				
	長庚橋	○	○		○	○	○		○		
	東勢橋			○	○	○	○		○		
高屏溪	里嶺大橋			○	○	○	○	○	○	○	○
	里港大橋			○	○	○	○	○	○	○	○
	旗尾橋			○	○	○	○	○	○		○
	美濃橋			○	○	○	○	○	○		
	高美大橋			○	○	○	○		○		○
	高樹大橋			○	○	○	○	○	○		
	南華大橋			○	○	○	○		○		
四條河川之取水口											
板新取水口				○	○	○	○			○	○
隆恩堰		○	○	○	○	○	○		○	○	
豐原第二淨水場		○	○		○	○	○		○		
高屏攔河堰		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

六、四條河川水質自動監測系統之設置規劃評估

由上述可知四條溪主要遭受之污染，分別為：(一)大漢溪—砂石場、生活污水、事業廢水；(二)頭前溪—砂石場、工業廢水、畜牧廢水、生活污水；(三)大甲溪—砂石場、工業廢水、垃圾滲出水、遊憩污水、農業排放水、生活污水；(四)高屏溪—砂石場、畜

牧廢水、垃圾滲出水、生活污水，分別如圖 4、圖 5、圖 6、圖 7 所示。而其四條河川各取水口之水質自動監測系統建議監測項目、人工採樣檢測項目、及本計畫規劃之河川水質監測點距取水口之預警時間分別如表 5 所示，其監測儀器規格如表 6 (氨氮)、表 7 (化學需氧量)、表 8 (葉綠素 a)、表 9 (總磷) 所示。

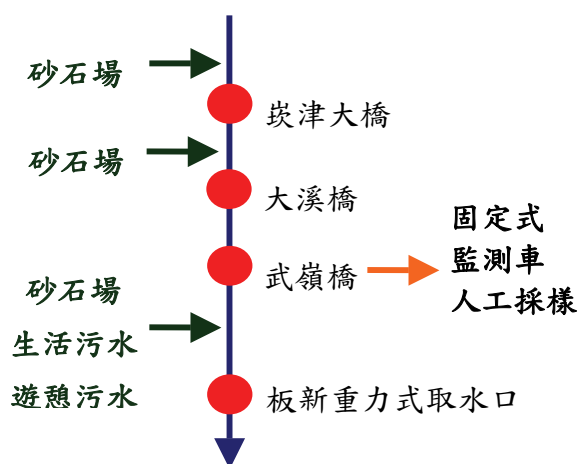


圖 4 大漢溪污染來源與監測儀器設置之評估

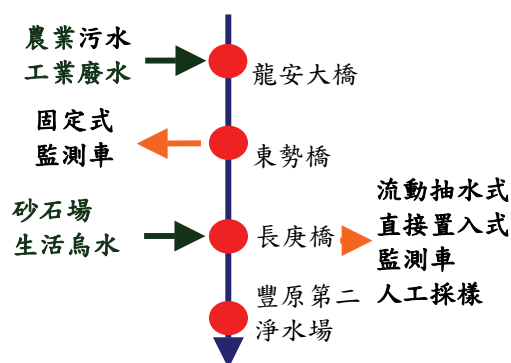


圖 6 大甲溪污染來源與監測儀器設置之評估

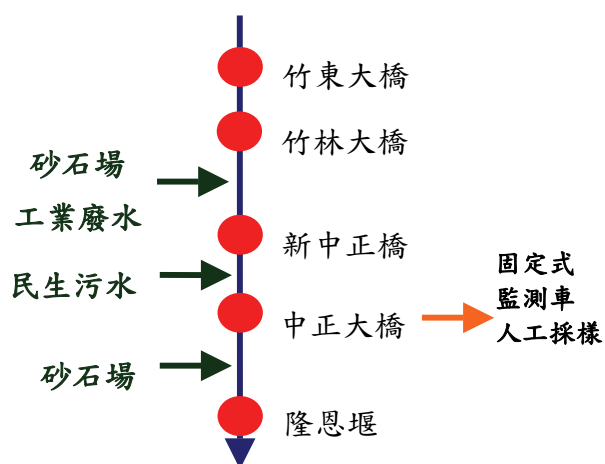


圖 5 頭前溪污染來源與監測儀器設置之評估

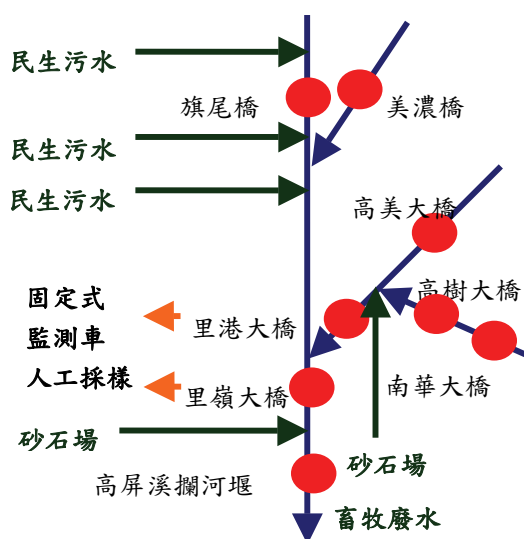


圖 7 高屏溪污染來源與監測儀器設置之評估

表 5 四條河川取水口水質自動監測系統之設置規劃評估

河川	監測點	取水口			預警時間 (hour)	
		建議項目	自動監測	人工採樣	枯水期	豐水期
大漢溪	武嶺橋	板新取水口	氨氮 葉綠素 a	揮發性有機物 大腸桿菌群密度	46.30	6.17
頭前溪	中正大橋	隆恩堰	COD	總有機碳 揮發性有機物 大腸桿菌群密度	3.28	0.44
大甲溪	東勢橋	豐原第二淨水場	COD	BOD	21.83	8.49
	長庚橋		氨氮	總有機碳 大腸桿菌群密度	13.23	5.14
高屏溪	里港大橋	高屏溪攔河堰	COD	BOD 總有機碳	46.30	19.29
	里嶺大橋		總磷	揮發性有機物 大腸桿菌群密度	23.15	9.65

表 6 氨氮儀器規格

環檢所公告方法之檢測原理	靛酚比色法 (NIEA W448.51B)			
自然水體水質檢測範圍	0.01 mg/L-N~18.8 mg/L-N			
廠牌	YSI	Hydrolab	WTW	AWA
型號	6600EDS	MS5/DS5X	MIQ 184XT	UV AM
測量原理	電極檢定法	離子電極感測法	離子電極法	UV 法
測量範圍	0~200 mg/L-N	0~100 mg/L-N	0.1~4,00 mg/L-N	0~100 mg/L-N
精確度	±2 mg/L-N	±5% of reading	±0.01 mg/L-N	±0.1 mg/L-N
保養週期	14 天~30 天	1 個月	1 個月	視水樣之情況而定
電極壽命	0.5~1 年	—	—	—
訊號輸出	RS-232、SDI-12	RS-232、RS-485、SDI-12	DC-4 mA~20 mA、RS-232	DC-4 mA~20 mA、RS-232
使用電源	8 顆 2 號鹼性電池、AC-110 V	AC-110 V、DC#3 鹼性電池 8 顆、太陽能	AC-100 V/240 V	AC-110 V/220 V
價格	約 750,000 元	約 320,400 元	約 510,000 元	約 952,000 元
檢測原理適用性	略有差異	略有差異	略有差異	略有差異
檢測範圍適用性	高	高	高	高

表 7 化學需氧量儀器規格

環檢所公告方法之檢測原理		密閉式重鉻酸鉀迴流法 (NIEA W517.52B)			
自然水體水質檢測範圍		4.0 mg/L~63.5 mg/L			
廠牌	AppliTek	WTW	AWA	HORIBA	HOTEC
型號	AppliCOD	MIQ 184XT	UV COD	OPSA-150	B-4 XYZ
測量原理	濕式化學法 比色法	光學法	UV 法	光學法	線上密閉迴流法
測量範圍	0~1,000 mg/L	0.1~800 mg/L	0~100 mg/L	0~5.0 Abs	0~150 mg/L
精確度	±10% full scale	±0.01 mg/L	±0.05 mg/L	±2% full scale	±3% full scale
保養週期	視水樣之情況而 改變	1 個月	視水樣之情況而 定	視水樣之情況而 定	視水樣之情況而 定
訊號輸出	DC-4 mA~20 mA、RS-232	DC-4 mA~20 mA、RS-232	DC-4 mA~20 mA、RS-232	DC-4 mA~20 mA、RS-232	DC-4 mA~20 mA
使用電源	AC-100 V/240 V	AC-100 V/240 V	AC-110 V/220 V	AC-100 V/230 V	AC-110 V/240 V 50 Hz/60 Hz±15%
價格	約 874,000 元	約 930,000 元	約 852,000 元	約 952,000 元	約 800,000 元
檢測原理適用性	較不符合	較不符合	較不符合	較不符合	較不符合
檢測範圍適用性	中	中	高	高	高

表 8 葉綠素 a 儀器規格

環檢所公告方法之檢測原理		乙醇萃取法 (NIEA E508.00B)	
自然水體水質檢測範圍		3.98 µg/L~8.06 µg/L	
廠牌	YSI	Hydrolab	AWA
型號	6600EDS	MS5/DS5X	UV CHLOA
測量原理	光學測定法	螢光感測法	螢光法
測量範圍	0~400 µg/L	0~50 µg/L	0~300 µg/L
精確度	±1.0 µg/L	±3%	±0.5 µg/L
保養週期	14 天~30 天	1 個月	視水樣之情況而定
電極壽命	5 年	—	—
訊號輸出	RS-232、SDI-12	RS-232、RS-485、SDI-12	DC-4 mA~20 mA、RS-232
使用電源	8 顆 2 號鹼性電池、AC-110 V	AC-110 V、DC#3 鹼性電 池 8 顆、太陽能	AC-110 V/220 V
價格	約 750,000 元	約 320,400 元	約 952,000 元
檢測原理適用性	略有差異	略有差異	略有差異
檢測範圍適用性	高	高	高

表 9 總磷儀器規格

環檢所公告方法之檢測原理	比色法 (NIEA W442.51C)		
自然水體水質檢測範圍	0.013 mg/L~1.85 mg/L		
廠牌	AppliTek	WTW	HORIBA
型號	TOPHO	Trescon OP510	TPNA-300
測量原理	濕式氧化法 比色法	Molybdenum blue (光學原理)	UV 法
測量範圍	0~20 mg/L	0.05~3.00 mg/L	0~0.5 mg/L
精確度	±3% full scale	±1.5%	±3% full scale
保養週期	視水樣之情況而改變	6 個月	視水樣之情況而定
訊號輸出	DC-4 mA~20 mA、RS-232	DC-4 mA~20 mA、RS-232	DC-4 mA~20 mA
使用電源	AC-100 V/240 V	AC-100 V/240 V	AC-100 V/240 V
價格	約 1,050,000 元	約 1,140,000 元	約 990,000 元
檢測原理適用性	略有差異	略有差異	略有差異
檢測範圍適用性	高	低	低

七、結論

(一)大漢溪水質除受沿岸砂石場及上游石門水庫洩洪之影響外，尚受大溪鎮之民生和觀光遊憩污水的影響。由水質採樣分析結果，可了解大漢溪部份水質檢測項目之濃度值相對偏高（凱氏氮、氨氮、硝酸鹽氮、COD），其主要原因可能與上游民生污水的直接排入與動物排泄物及動植物屍體之分解有關，進而造成水體中有機氮的增加。

(二)頭前溪水質主要受到沿岸砂石場及竹東、芎林等市鎮污水的影響，尚受竹林大橋上五華工業區放流水之影響。由水質採樣分析結果，部份水質檢測項目之濃度值相對偏高（凱氏氮、總有機碳、硝酸鹽氮、COD），而在中正大橋、竹林大橋可偵測到揮發性有機物，可知其雖遭受部份廢水的污染，但所含揮發性有機物之可能性較低，亦或排放量少，經豐水期之河水稀釋後，使其低於方法偵測極限。因此，頭前溪在中正大橋和竹林

大橋間受到工業廢水之污染情況（五華工業區），故需持續改善污水下水道之接管率與污水處理系統的提昇，以解決民生污水和事業廢水直接排入河川所造成的污染問題。

(三)大甲溪水體水質主要受到民生污水、上游地區觀光遊憩污水及沿岸農業廢水的影響。由水質採樣分析結果，部份水質檢測項目之濃度值相對偏高（凱氏氮、總有機碳、氨氮、COD），其主要原因可能與上游民生污水的排入、動物排泄物及動植物屍體之分解有關，進而造成水體中有機氮的增加。

(四)高屏溪水體水質主要受到砂石場、畜牧廢水、垃圾滲出水與生活污水的影響。由水質採樣分析結果，部份水質檢測項目之濃度值相對偏高（濁度、凱氏氮、總有機碳），而在高屏欄河堰、高美大橋、美濃橋亦可測得揮發性有機物，由此可知，高屏溪取水口上游仍受到事業廢水的污染影響。

(五)綜合水質採樣分析結果，可知四條河川

水源之水質皆符合飲用水水源水質標準，且界面活性劑（MBAS）與重金屬（鉛、鉻、鎘、砷、汞、硒）之測值皆為 ND 值（低於方法偵測極限）；然而部份採樣點仍可測得微量的揮發性有機物，故為確保水質安全，未來尚有待相關單

位加強取締與監測，以充分掌握取用水源之污染情況。

(六)四條河川各取水口之水質自動監測系統建議監測項目、人工採樣檢測項目、及本計畫規劃之河川水質監測點距取水口之預警時間如下表所示：

表 10 四條河川水質監測建議彙整表

河川	監測點	取水口			預警時間 (hour)	
		建議項目	自動監測	人工採樣	枯水期	豐水期
大漢溪	武嶺橋	板新取水口	氨氮 葉綠素 a	揮發性有機物 大腸桿菌群密度	46.30	6.17
頭前溪	中正大橋	隆恩堰	COD	總有機碳 揮發性有機物 大腸桿菌群密度	3.28	0.44
大甲溪	東勢橋	豐原第二淨水場	COD	BOD	21.83	8.49
	長庚橋		氨氮	總有機碳 大腸桿菌群密度	13.23	5.14
高屏溪	里港大橋	高屏溪攔河堰	COD	BOD	46.30	19.29
	里嶺大橋		總磷	揮發性有機物 大腸桿菌群密度	23.15	9.65

參考文獻

1. Bonzongo, J.-C.J., Nemer, B.W., Lyons, W.B., “Hydrologic controls on water chemistry and mercury biotransformation in a closed river system: The Carson River, Nevada”, Applied Geochemistry, Vol. 21, pp. 1999-2009, 2006.
2. Benotti, M.J., Trenholm, R.A., Vanderford, B.J., Holady, J.C., Stanford, B.D., Snyder, S.A., “Pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in U.S. drinking water”, Environmental Science & Technology, Vol. 43, NO. 3, pp. 597-603, 2009.
3. Mkandawire, M., Dudel, E.G., “Accumulation of arsenic in Lemna gibba L. (duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany”, Science of the Total

Environment, Vol. 336, pp. 81-89, 2005.

4. Churchill, R.C., Meathrel, C.E., Suter, P.J., “A retrospective assessment of gold mining in the Reedy Creek sub-catchment, northeast Victoria, Australia: residual mercury contamination 100 years later”, Environmental Pollution, Vol. 132, pp. 355-363, 2004.
5. 「2006年香港河溪水質」，香港特別行政區政府環境保護署，2006。

作者簡介

吳俊哲先生

現職：逢甲大學 環境工程與科學系 專任教授

專長：臭氧高級氧化處理及動力學、工業廢水處理
自來水淨水處理與消毒副產物、廢水回收與再利用技術之開發、水庫水質監測及優養化分析

利用清水池水位進行出水管漏水量及流量計準確度測試

文/鄭答振

摘要

臺灣平均每人每年可分配水量相當有限，水資源益顯珍貴；如何降低漏水率、節省水資源，亦為自來水經營單位重要課題。依統計資料顯示，配、給水管漏水案件數雖佔漏水總件數極大比例，然輸水幹管一旦漏水，其水量遠遠大於給水管，亦不容忽視。由於近年來雙溪淨水場出水管 $\Phi 700\text{mm}$ 輸水幹管漏水案件頻傳，為確認該輸水幹管漏水情形，故規劃進行本次漏水測試；北水處各淨水場經營績效一向良好，近年除持續進行設備改善並實施綜合效能評估，水質已超越歐美日最嚴格出水濁度標準；惟雙溪場文氏管流量計因使用年期長，準確度無法與目前先進流量計相提並論，為確認出水管流量計準確度，以利正確計量，本次亦將相關測試一併納入。經本測試確認 $\Phi 700\text{mm}$ 出水管無明顯漏水；另前述流量計經測試於不同瞬間流量皆有高估流量之趨勢。本次測試已建立利用水池水位計量進行出水管漏水評估及流量計準確度測試之標準模式，爾後可適時進行測試，以確保供水正常及流量計準確度，並可作為未來設施汰換之評估依據。

關鍵字：清水池水位計量、輸水幹管、漏水評估、流量計準確度

一、前言

臺灣雖屬降雨豐沛地區，但由於降雨分佈不均，河川短促，難以蓄留水量，另因地狹人稠，故平均每人每年可分配水量相當有限，水資源益顯珍貴；如何降低漏水率、節

省水資源，亦為自來水經營單位重要課題。依統計資料顯示，配、給水管漏水案件數雖佔漏水總件數極大比例，然輸水幹管一旦漏水，其水量遠遠大於給水管，亦不容忽視。由於近年來北水處雙溪淨水場出水管 $\Phi 700\text{mm}$ 輸水幹管漏水案件頻傳，為確認該輸水幹管漏水情形，故規劃進行本次漏水測試。

北水處各淨水場經營績效一向良好，近年除持續進行設備改善並實施綜合效能評估，水質已超越歐美日最嚴格出水濁度標準；惟早期流量計昂貴，且受限於採購經費，雙溪場當時係採用較小口徑流量計，且該文氏管流量計因使用年期長，準確度亦無法與目前先進流量計相提並論，相關單位雖每年皆進行校正作業，但僅限於訊號轉換計算之校正，實際物理量則未曾測試，為確認出水管流量計準確度，以利正確計量，本次亦將相關測試一併納入。

二、雙溪場系統簡介

(一)淨水系統

雙溪淨水場位於臺北市外雙溪至善路 3 段，主要原水來源為雙溪水壩導取內雙溪溪流，另於枯水期再抽取菁礮溪溪水以補充不足水量。該場原水經由抽水機抽送至混合池內以機械攪拌後流入膠凝池進行混凝，然後平均流入 2 個傾斜管式沉澱池去除原水中大部份之濁度，再經 8 座單一濾料重力式過濾池，過濾後之清水再流入容量約 $6,000\text{m}^3$ (長 45m × 寬 27m × 深 5m) 之清水池以備供水。

雙溪場民國 91 年完成水質電腦監視系統，淨水場重要水質項目（PH、濁度、餘氯、水溫、總鹼度、導電度）及場區外代表點之濁度餘氯，已全盤納入電腦連續監測，啓用以來，出水品質的公信力在最新的電腦科技佐證下大幅提昇。淨水場的水質檢驗工作亦因該系統所作的連續監測及訊息提供而得以簡化。

(二)供水系統

雙溪場供水共分為至善路 $\Phi 700\text{mm}$ 出水管系統（清水池—前端 $\Phi 800\text{mm}$ 管線— $\Phi 600\text{mm}$ 流量計— $\Phi 800\text{mm}$ 管線— $\Phi 700\text{mm}$ 管線）、溪山系統（清水池—抽水機加壓—溪山配水池—重力供水）、中央社區系統（清水池—抽水機加壓—中央社區分段加壓供水）3 部分，本文主要係探討至善路 $\Phi 700\text{mm}$ 出水管系統。由於雙溪場地勢較高，該系統係將清水藉由重力方式，經由至善路 2 段 248 號前、284 巷口分支管送至至善路一、二段

一帶用戶，另於福林路接至平地系統供水（詳圖 1），目前供水範圍為天母、士林地區之高地如至善路一帶較高地區，每日出水量約 2 萬噸。前述出水管於民國 74、75 年間竣工，主要管徑為 $\Phi 700\text{mm}$ ，材質多為球狀石墨鑄鐵管（DIP），總長約 4,200 公尺（由雙溪場至雙溪公園），由於高差達 105 公尺，其間並設有 2 處減壓閥（詳圖 2）。

三、測試程序及成果

本次係採操作出水管蝶閥、分支配水管制水閥及下游端蝶閥方式，分 3 階段測試，並以清水池水位變化計量進行漏水量及出水量估算，以確認清水池、出水管漏水程度及流量計準確度。

(一)雙溪場清水池漏水測試（詳圖 3）

1.操作步驟

(1)測試前將雙溪場清水池、溪山配水池及中央社區第一加壓站配水池蓄至高水位。

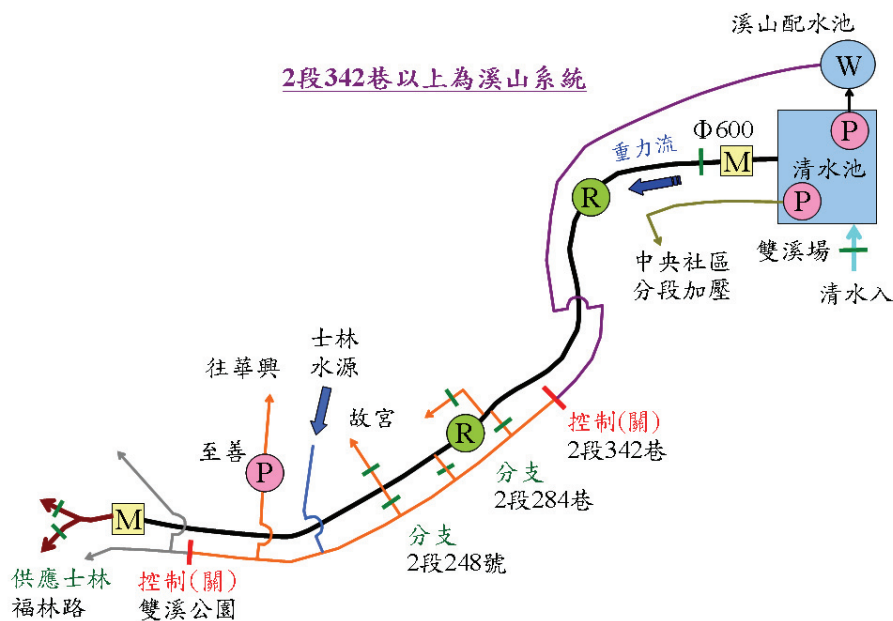


圖 1 雙溪場供水系統示意圖

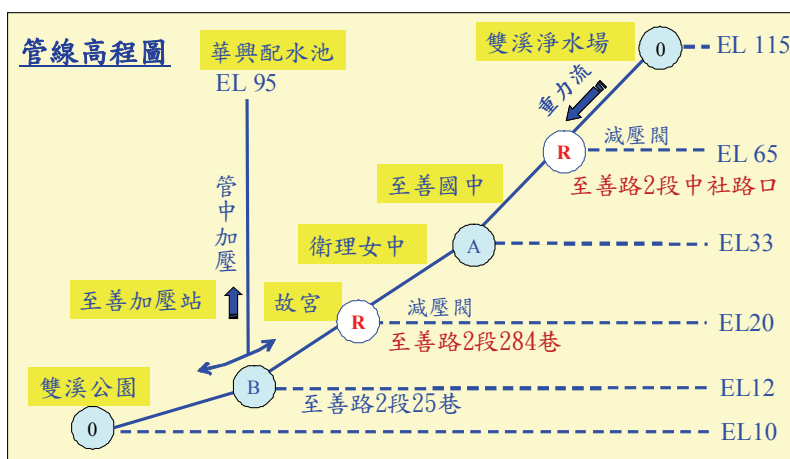


圖 2 雙溪場出水管高程圖

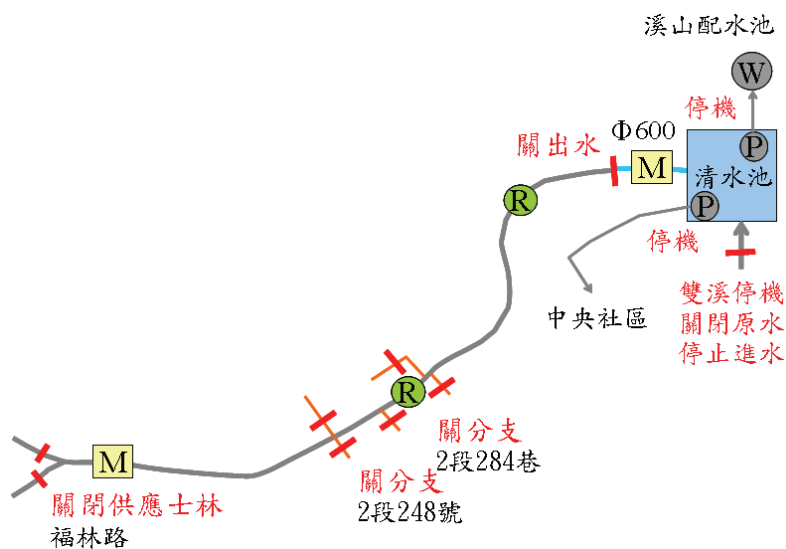


圖 3 清水池漏水測試示意圖

(2)溪山及中央社區抽水機停機；雙溪場淨水設備停機，隨即關閉進水開關，確認已無處理後清水進入清水池。

(3)先關閉供應士林市區蝶閥、再關閉 $\Phi 700\text{mm}$ 輸水幹管所有分支配水管制水閥、(先關避免空管)。關閉雙溪場 $\Phi 800\text{mm}$ 出水管蝶閥。

(4)依清水池水位下降量計算水量，即得清水池本體漏水量。

2.測試成果

觀察雙溪場清水池水位均維持 $\pm 0.01\text{m}$ 跳動，研判清水池應無漏水 (詳表 1)。

(二) $\Phi 700\text{mm}$ 輸水管漏水測試 (詳圖 4)

1.操作步驟

(1)接續先前作業，開啓 $\Phi 800\text{mm}$ 出水管蝶閥。

(2)依清水池水位下降量計算水量，即得 $\Phi 700\text{mm}$ 輸水幹管漏水量。

2.測試成果 (詳表 2)

水位仍維持 $\pm 0.01\text{m}$ 跳動， $\Phi 600\text{mm}$ 流量計累積流量維持不變。即便保守假設 1 小時水位下降 1cm，則漏水量估算約為 288 噸/日，研判該 $\Phi 700\text{mm}$ 輸水管漏水量極小或無漏水。

表 1 清水池漏水測試紀錄表

第一階段(測試本水池漏水量 5分鐘1筆) (單位：水位 m 水量 m³)

時間	00:45	00:50	00:55	01:00	01:05	01:10	01:15	01:20	01:25
水位	4.78	4.79	4.78	4.78	4.78	4.78	4.77	4.78	4.77
水位差		-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	0.01
漏水量		-12.06	12.06	0.00	0.00	0.00	12.06	-12.06	12.06
累計水位差		-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
累計漏水量		-12.06	0.00	0.00	0.00	0.00	12.06	0.00	12.06



圖 4 Φ700mm 輸水管漏水測試示意圖

表 2 Φ700mm 輸水管漏水測試紀錄表

第二階段(測試700管線+本水池漏水量 5分鐘1筆) (單位：水位 m 水量 m³)

時間	01:40	01:45	01:50	01:55	02:00	02:05	02:10	02:15	02:20	02:25	02:30	02:35
水位	4.76	4.75	4.74	4.75	4.74	4.74	4.75	4.74	4.75	4.74	4.75	4.74
水位差		0.01	0.01	-0.01	0.01	0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.01
漏水量		12.06	12.06	-12.06	12.06	0.00	-12.06	12.06	-12.06	12.06	-12.06	12.06
累計水位差		0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
累計漏水量		12.06	24.12	12.06	24.12	24.12	12.06	24.12	12.06	24.12	12.06	24.12

(三)Φ600mm 流量計準確度測試 (詳圖 5)

1.操作步驟

- (1)接續先前作業，先開啓供應土林市區蝶閥 (流量計瞬間流量約 7,000CMD)、再開啓 Φ700mm 輸水幹管所有分支配水管制水閥 (流量計瞬間流量約 22,000CMD)。
- (2)紀錄清水池水位下降量計算水量，據以分

析Φ600mm 流量計準確度。

2.測試成果

經計算水位下降量求得實際流量後，與測試開始、結束流量計累積流量差值比較，發現瞬間流量約 7000CMD 及 22,000CMD 時，流量計皆有高估流量之趨勢，惟測試時間過短 (約 1 小時)，測試成果仍有待商榷。

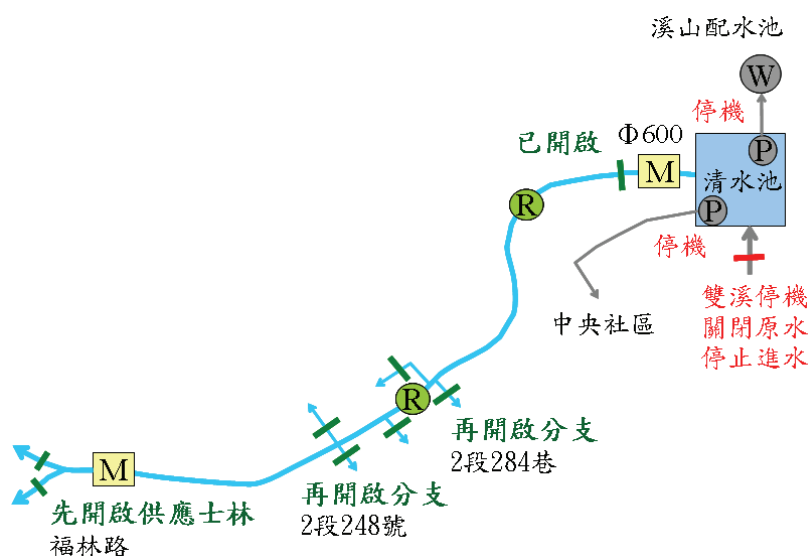


圖 5 Φ600mm 流量計準確度測試示意圖

為進一步確認流量計準確度，已另於他日進行長達 4 小時測試，期間瞬間流量約 20,000CMD，已達平日常出水量，經測試流量計確實存在高估流量之問題。

四、結論

經本測試確認 Φ700mm 出水管無明顯漏水，目前可繼續使用無須汰換，並可省下相關管線汰換工程費用約 3,500 萬元；惟以往漏水案件多因水錘作用或水壓過高導致爆管，應立即檢修持減壓閥，以控制輸水幹管壓力，並發揮供水系統功能。

依文獻顯示，文氏管流量計可能因使用年期長而產生誤差，前述流量計經測試確認於不同瞬間流量皆有高估流量之趨勢，目前已委由專業承商完成校正作業，並可穩定正確計量，且該流量計係供經營管理之用，非計量收費依據，故應可持續使用暫無需汰換。本次測試已建立利用水池水位計量進行出水管漏水評估及流量計準確度測試之標準模式，爾後可適時進行測試，以確保供水正常及流量計準確度，並可作為未來設施汰

換之評估依據。

誌謝

本研究測試期間承蒙北水處各級長官指導及淨水科、陽明營業分處同仁大力協助，在此一併致謝。

參考文獻

1. 臺北自來水事業處，「臺北地區供水系統合理調配暨危機管理之探討」，2002。
2. 臺北自來水事業處，「臺北區供水系統暨管網健全改善之研究」，2003。
3. 臺北自來水事業處，「供水管網改善及管理計畫-長程策略方針」，2006。
4. 臺北自來水事業處，「台北區自來水第五期建設給水工程計畫－第二階段規劃報告」，2006。

作者簡介

鄭答振先生

現職：臺北自來水事業處供水科幫工程司

專長：管線工程規劃、施工作業、區域供水調配

二氧化氯作為淨水處理藥劑之可行性評估

文/許倚哲、林哲昌、許國恩、朱敬平、鍾裕仁

摘要

本文探討以二氧化氯作為淨水場氧化或消毒處理藥劑之可行性。利用現地模廠測試，評估二氧化氯對於氨氮、鐵、錳、砷、總有機碳之氧化效能與總三鹵甲烷生成潛勢評估，並進行致病菌、微生物之去除效能驗證，同時探討消毒副產物亞氯酸鹽之生成情形。

研究顯示二氧化氯在氧化效能上對於氨氮、砷與總有機碳之去除率約只有 10~30%；但對於鐵、錳則有 100% 去除率。另在消毒效能方面，當二氧化氯添加劑量大於 21min*mg/L，水體總菌落數與大腸桿菌群可符合飲用水水質標準，且在 24 小時內可有效抑制總菌落數與大腸桿菌群。另亦發現添加二氧化氯相較添加次氯酸鈉約可減少 20 % 之總三鹵甲烷生成，惟另一消毒副產物亞氯酸鹽則隨二氧化氯加藥濃度提高而增加，此時需藉由添加亞鐵，或是降低二氧化氯加藥量來控制亞氯酸鹽濃度。

相較於傳統加氯，二氧化氯在氧化鐵、錳，以及消毒時避免生成 TTHMs 兩方面具有優勢；此外，二氧化氯於 24 小時內消毒力殘餘效果較傳統加氯方式好，若超過 24 小時則以傳統加氯效能較佳。

關鍵詞：二氧化氯、鐵、錳、砷、氨氮、總有機碳、總三鹵甲烷

一、前言

台灣地區傳統淨水場以混凝、沉澱、過濾與消毒等為主要水質處理程序，近年來由於部分集水區水源遭受人為過度開發，造成

原水水質氨氮、有機物與臭味物質等含量有增加之趨勢，國內部分淨水場已增設前加氯處理單元以氧化前述污染物，此外，淨水場多採用後加氯方式處理水中微生物，加氯種類主要以次氯酸鹽或氯氣為主。然前加氯氧化或後加氯消毒過程中，氯會與水中有機物結合，產生總三鹵甲烷 (Total Trihalomethanes, TTHMs) 等具有致癌性之消毒副產物，因而選擇替代性之氧化或消毒藥劑逐漸受到重視。

二氧化氯具有明顯之殺菌效果與氧化能力，且可抑制 TTHMs 產生^[1]，在先進國家如美國、歐洲、日本等，已有廣泛的應用，根據 AWWA (American Water Works Association) 調查顯示^[2]，美國二氧化氯作為水處理藥劑主要偏重於前段氧化；歐洲方面，二氧化氯主要作為淨水處理之後段消毒用途，以德國的淨水場而言，二氧化氯作為後端消毒比例約佔 9%^[3]。我國環保署於民國 95 年亦公告將氣態二氧化氯列為可考慮之淨水處理藥劑，國內目前小金門紅山淨水場和金門的榮湖淨水場已採用二氧化氯作為前氧化處理藥劑。

二氧化氯於淨水程序多採現地製造方式，其產製方法分為化學法、電解法、穩定法三類，氧化法主要以亞氯酸鈉為主體；還原法則以氯酸鈉為主要原料；電解法係採用氯化鈉或亞氯酸鈉為原料。二氧化氯製造過程，會產生不同製程副產品^[4]，例如氯氣、氯酸鹽、鹽酸、氫氧化鈉、硫酸等。

二氧化氯常被作為氧化水源中二價鐵



和二價錳之用，其適宜之 pH 操作範圍分別介於 7~9 和 7.5~8，可分別形成三價鐵氧化物和不溶於水之二氧化錳，再經由沉澱或過濾處理單元，達到去除目的^[4-5]。比較二氧化氯、氯氣、臭氧、高錳酸鉀四種氧化劑對移除 1 mg/L 的鐵和錳之消耗量，其中以二氧化氯所需添加之劑量最低^[6]。但二氧化氯對砷無明顯去除效率，一般國內淨水處理常以氯化鐵將三價砷氧化為五價砷後，再予以沉澱去除^[7]。另因二氧化氯只能將大分子有機物氧化成小分子有機物，因此對水中有機物之去除效能不彰，但因二氧化氯與有機物進行氧化分解，可有效分解三鹵甲烷生成潛勢物，故可降低後端出水的 TTHMs 生成量^[8-10]。

此外，二氧化氯亦作為後端消毒藥劑之用，可去除水中大腸桿菌群、病毒、梨形鞭毛蟲和隱孢子蟲等，去除率可達 99% 以上(去除率隨添加劑量與接觸時間而略有差異)^[11-13]。雖添加二氧化氯可降低 TTHMs 的生成量，但卻又衍生氯酸鹽和亞氯酸鹽等副產物，其中以亞氯酸鹽濃度較高，一般可藉由添加亞鐵離子、亞硫酸根和活性碳等加以移除^[14-16]。

綜合上述二氧化氯於淨水場之應用，本研究希冀藉由模廠實證，評估國內不同水源水質淨水場採用二氧化氯作為氧化或消毒藥劑之可行性。

二、研究方法

(一)目標淨水場的水質特性

本研究依據淨水場鐵/錳、砷、氨氮、總有機碳/總三鹵甲烷等歷史水質數據，篩選合宜之淨水場，並依據淨水場的區位、水源來

源與前述四類型水質特性，確認四座目標淨水場，其分布區位如圖 1 所示，表 1 則為四座淨水場歷史水質數據彙整。



圖 1 目標淨水場區位分布

表 1 目標淨水場原水歷史水質資料

項目	彰化 A	彰化 B	雲林 C	高雄 D
鐵	0.19~1.84	0.44~2.46	0.2~2.18	0.33~3.56
錳	0.24~0.45	0.2~0.36	0.055~0.252	0.09~0.69
砷	-	0.01~0.014	0.01~0.397	-
氨氮	0.17~2.32	0.1~0.48	0.32~3.58	0.13~7.86
TOC	-	-	-	4.04~6.98
TTHMs	-	-	-	0.08~0.10
水源	地下水	地下水	地下水	地表水
加藥方式	前加氯	前加氯	前加氯	前加氯/後消毒
加藥類型	次氯酸鈉	次氯酸鈉	次氯酸鈉	液氯

註：單位為 mg/L

(二)模廠設備

針對四座目標淨水場所在之區位，於彰化 A 及高雄 D 兩淨水場設置現地二氧化氯模廠，彰化模廠主要進行二氧化氯之氧化效能

試驗；高雄模廠則進行二氧化氯之氧化、消毒與消毒副產物去除試驗。

模廠採用酸性/亞氯酸鈉氧化法產製二氧化氯，主體設備包括加藥機兩組、反應器乙組、進水流量計、靜態攪拌器、控制系統等(如圖 2)，以 7.5%亞氯酸鈉溶液及 9%鹽酸，定量地輸送至反應器內產生產生二氧化氯氣體，每小時二氧化氯最大產生量為 60 公克，其化學式如下：



圖 2 二氧化氯現地模廠設備圖

(三)實驗方法與步驟

1.設備測試

彰化模廠完成設備組裝後，進行二氧化氯產生濃度、線上型二氧化氯濃度儀器、加藥機等設備測試。模廠水電安裝後，再進一步進行模組測試，首先檢核清水流量計之穩定性 (120 ~150 L/hr)，再調整鹽酸、亞氯酸

鈉兩種原料液之加藥機流速 (通常為 1:1)，並以光度計 (Photometer DT1, ProMinent) 檢測水樣之二氧化氯濃度後，再將檢測值輸入至線上型二氧化氯濃度儀器，線上型二氧化氯濃度儀器校正方式採用 N,N-二乙基-1,4-苯二胺分光光度法測試產製之二氧化氯濃度。

2.氧化效能驗證

氧化效能探討主要係針對台灣地區飲用水源常見之氨氮、鐵、錳、砷與總有機碳 (Total Organic Carbon、TOC)等物質，以不同二氧化氯添加濃度(固定接觸時間)與不同接觸時間 (固定二氧化氯添加濃度)兩種測試方法，評估二氧化氯對高氨氮水樣、高鐵錳水樣、高砷水樣與高 TOC 水樣之氧化效能差異。此外，亦探討採用二氧化氯與次氯酸鈉作為氧化劑之處理效能差異。

3.消毒效能驗證

消毒效能以總菌落數與大腸桿菌群作為指標微生物，一般可區分為立即性消毒效能與持續性消毒效能，本研究先以不同二氧化氯添加濃度(固定反應時間)和不同接觸時間(固定二氧化氯添加濃度)兩種測試方法，評估二氧化氯消毒效能之差異，以消毒劑之濃度 (C) 與接觸時間 (t) 乘積值 (Ct 值) 進行操作參數探討。此外，採用淨水場之實際消毒加氯濃度，比較加氯與加二氧化氯兩不同試驗組之消毒劑量延時殘留差異。

4.消毒副產物之去除

本研究採用亞鐵添加法去除亞氯酸鹽之處理效能，先以不同二氧化氯添加濃度，了解亞氯酸鹽生成情形，再固定二氧化氯與亞鐵添加濃度，於不同反應時間下反應，評估亞鐵反應時間對亞氯酸鹽濃度之去除效



能差異。之後進一步以不同亞鐵添加濃度，於相同之亞氯酸鹽濃度與反應時間，進而解析不同亞鐵劑量去除亞氯酸鹽效能差異。

三、結果與討論

(一) 氧化效能驗證

本研究為了解淨水場清水添加二氧化氯後濃度變化狀況，分別以 0.6、1.0、1.5、2.0、3 mg/L 五種起始濃度，注入清水進行試驗，並於 2、4、6、8、10 分鐘，量測水中二氧化氯濃度變化，結果顯示不同添加量之二氧化氯濃度變化率皆低於 2 % 以內(參見圖 3)，表示清水中之二氧化氯穩定性很高。

在氨氮去除效能方面，不論是增加二氧化氯加藥濃度或是二氧化氯接觸時間(圖 4、5)，除 B 淨水場以外，A、C、D 三淨水場之二氧化氯對於氨氮之去除皆無明顯的效果(去除率<40%)，二氧化氯對 B 淨水場原水氨氮有較高去除率乃是因原水氨氮含量較低，故二氧化氯雖只去除少量氨氮卻仍具有較高之氨氮去除率。

在錳去除效能方面，比較不同二氧化氯添加濃度(固定接觸時間：10 分鐘)(圖 6)與不同接觸時間(固定二氧化氯添加濃度：1.4mg/L)(圖 7)兩試驗組後，可得知當二氧化氯添加濃度大於或等於 1.4mg/L，則在接觸時間超過 7 分鐘條件下，即可有效將錳氧化，對錳之去除率可達 100%。

在鐵去除效能方面，因 A、C、D 三淨水場原水鐵含量偏低，因此以 B 淨水場原水進行鐵氧化效能試驗(圖 8)，二氧化氯對鐵之去除效能類似於錳，當二氧化氯添加濃度大於或等於 1.4mg/L，則在接觸時間超過 5 分鐘條件下即可有效將鐵氧化，對鐵之去除率可達 100%。

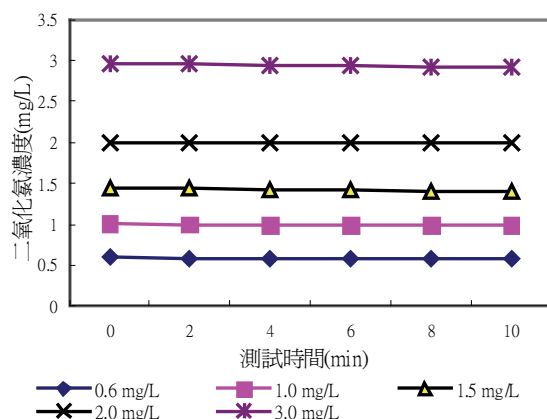


圖 3 淨水場清水於不同時間之二氧化氯含量變化

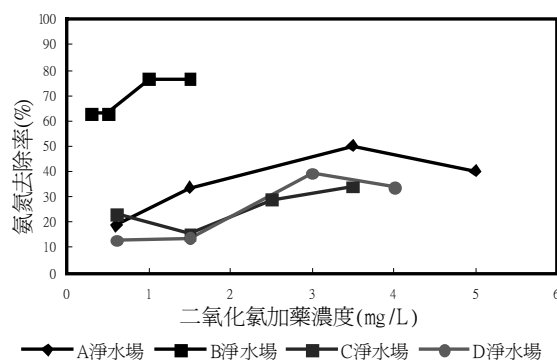


圖 4 不同二氧化氯加藥濃度對氨氮之影響

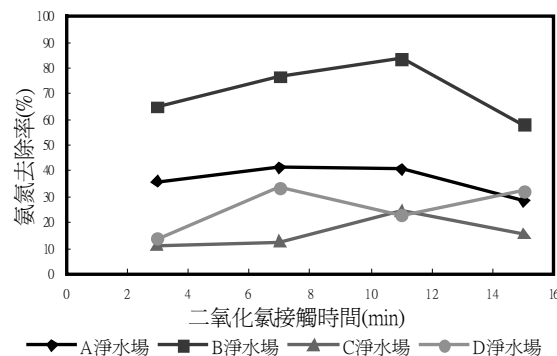


圖 5 不同二氧化氯接觸時間對氨氮之影響

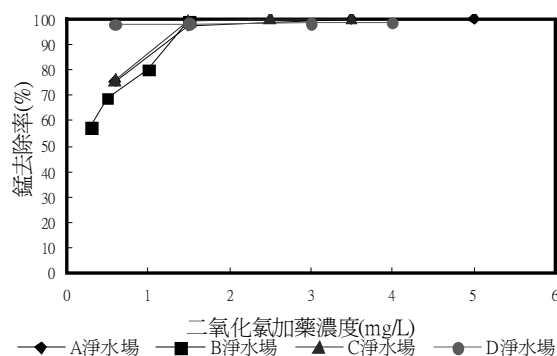


圖 6 不同二氧化氯加藥濃度對錳之影響

在砷去除效能方面，因 A、B、C、D 四淨水場原水鐵含量偏低，故添加固定濃度三價砷至 C 場原水中，由圖 9 可發現二氧化氯對於砷之去除皆無明顯的效果(去除率 < 30%)，文獻^[17]提出水中砷之去除，可被水中共存之鐵氧化物，以吸附或共沉澱機制，將溶解態的砷附著於顆粒狀之鐵氧化物表面，而將砷去除。因此二氧化氯雖可能可將三價砷全部氧化成五價砷，但五價砷為溶解狀態，若無法藉由與三價鐵氧化物或其他物質產生吸附或共沉澱，則無法有效去除砷。

在 TOC 去除效能方面，不論是增加二氧化氯加藥濃度或是二氧化氯接觸時間(圖 10、11)，二氧化氯對於 D 淨水場原水 TOC 之去除皆無明顯的效果(去除率 < 30%)，這是因指出二氧化氯可將大分子有機物(分子量：10K ~ 50K)，氧化成小分子有機物(分子量：小於 1K)，並非所有大分子有機物都可以被二氧化氯完全氧化分解，且小分子有機物亦無法全部在被二氧化氯氧化分解^[8]，故二氧化氯對 TOC 之去除效果不彰。

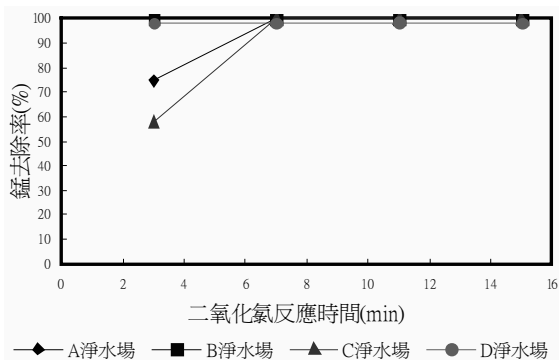


圖 7 不同二氧化氯接觸時間對錳之影響

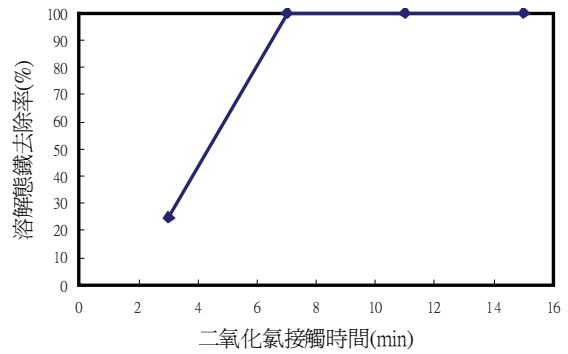


圖 8 不同二氧化氯接觸時間對 B 淨水場原水鐵之影響

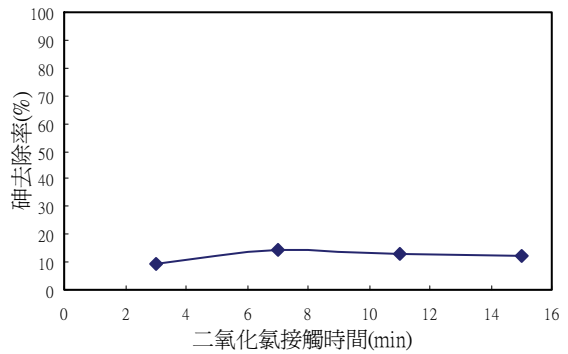


圖 9 不同二氧化氯接觸時間對 C 淨水場原水砷之影響

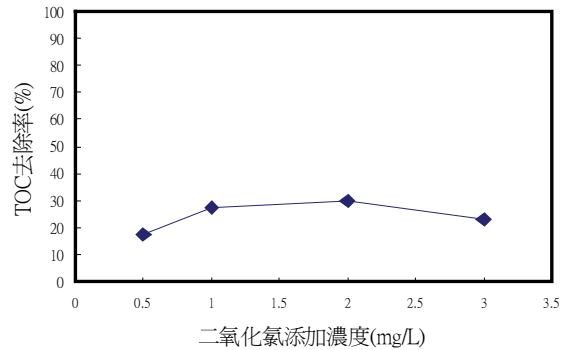


圖 10 不同二氧化氯加藥濃度對 D 淨水場原水 TOC 之影響

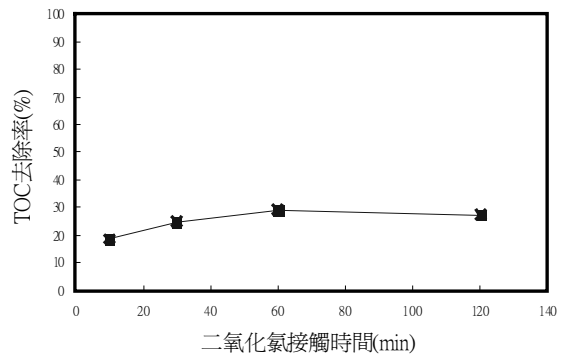


圖 11 不同二氧化氯接觸時間對 D 淨水場原水 TOC 之影響

(二)消毒效能驗證

在分別進行不同二氧化氯添加濃度與不同接觸時間試驗後，將二氧化氯 Ct 值與總菌落數、大腸桿菌群作圖，其結果如圖 12、13 所示。由圖可發現隨著二氧化氯劑量的提升，總菌落數與大腸桿菌群已有明顯的減少，若欲使水體之大腸桿菌群與總菌落數分別符合飲用水水質標準(總菌落數 < 100CFU/mL；大腸桿菌群 < 6 CFU/100mL)，則所需二氧化氯劑量必須大於 21 min*mg/L，且文獻^[18]亦指出欲去除 3-log 細菌，則二氧化氯所需劑量為 20~30 min*mg/L。

在持續性消毒試驗中，加二氧化氯與加氯對總菌落數的持續消毒比較如圖 14，對大腸桿菌群的持續消毒如圖 15。由圖 14 可發現加二氧化氯在短時間內可較有效降低總菌落數，但在長時性抑制總菌落數則以加次氯酸鈉的效能較佳。另由圖 15 可發現兩處理藥劑對大腸桿菌群皆可維持 48 小時以上之長時性持續消毒效力。

(三)消毒副產物之去除

以 D 淨水場原水進行添加二氧化氯與氯之試驗，比較對 TTHMs 生成之差異，結果如圖 16 所示，由圖可發現 TTHMs 濃度變化不隨二氧化氯添加濃度增加而有變化，且原水添加二氧化氯後之 TTHMs 生成量約比加氯減少 20%。

另在添加亞鐵去除亞氯酸鹽之試驗中，圖 17 為固定二氧化氯添加濃度(1.4mg/L)與亞鐵添加量下(3mg/L)，不同反應時間下之亞氯酸鹽去除效能，可發現亞鐵添加 5 分鐘後，亞氯酸鹽已被消耗約 0.82 mg/L，反應時間 10、20、30 分鐘後的亞氯酸鹽濃度已無太大變化，表示亞鐵已全部和亞氯酸鹽反應，且亞鐵去除亞氯酸鹽之反應速率極快。

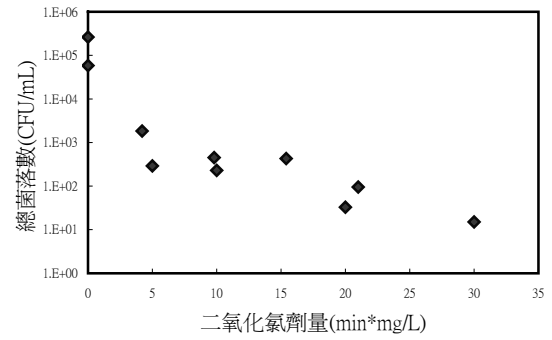


圖 12 不同二氧化氯劑量對總菌落數之影響

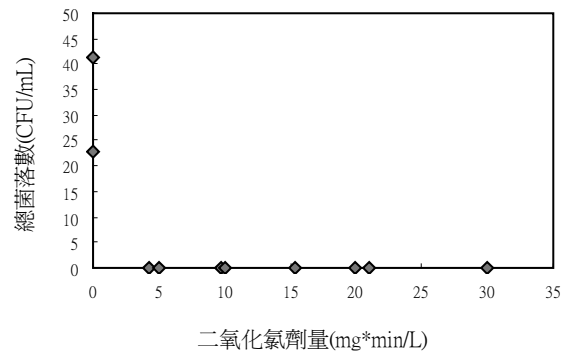


圖 13 不同二氧化氯劑量對大腸桿菌群之影響

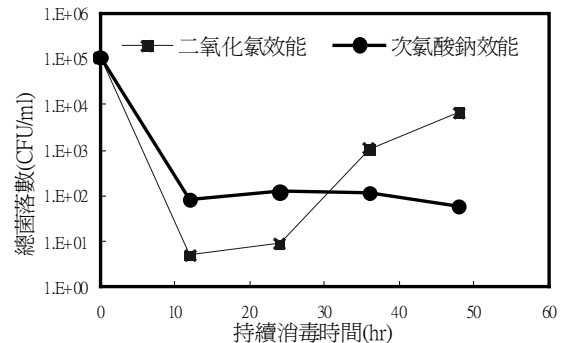


圖 14 加二氧化氯與加氯對 D 淨水場總菌落數之持續消毒影響

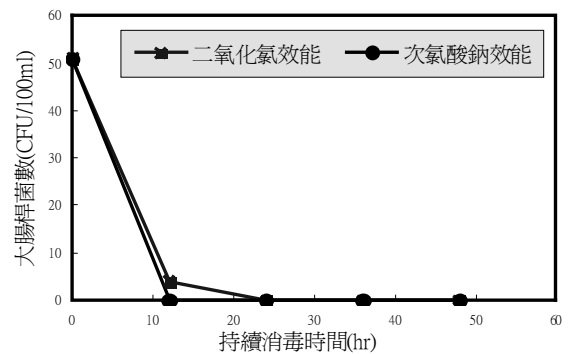


圖 15 加二氧化氯與加氯對 D 淨水場大腸桿菌群之持續消毒影響

尚未添加亞鐵時，依據文獻^[19]的理論約會產出 1.0mg/L 之亞氯酸鹽，但實際上亞氯酸鹽濃度約為 2.687 mg/L，此一濃度亞氯酸鹽應為殘餘藥劑亞氯酸鈉與二氧化氯轉變成亞氯酸鹽根離子所混合而得，故若考量不採用亞鐵添加法，使亞氯酸鹽濃度小於 1.0mg/L(飲用水水質標準)，建議二氧化氯添加濃度應小於 0.9mg/L(圖 18)。

而於不同亞鐵添加濃度試驗中(圖 19)，當亞鐵添加量分別為 3、5、7mg/L 時，約可分別去除 0.96、1.58、1.93mg/L 亞氯酸鹽，顯示增加亞鐵添加量可有效降低亞氯酸鹽濃度，當二氧化氯添加濃度為 1.4mg/L 時，則需添加約 5.5mg/L 的亞鐵，方可使亞氯酸鹽濃度小於 1mg/L，上述各試驗點亞鐵所還原之亞氯酸鹽劑量皆與理論值接近，故可證實亞鐵添加法為有效去亞氯酸鹽之處理程序。但添加亞鐵去除亞氯酸鹽則會使總鐵濃度增加，圖 20 可看出亞鐵添加量分別為 3、5、7mg/L 時，其最終產生之總鐵濃度分別為 2.8、4.91、6.79mg/L，可看出亞鐵與亞氯酸鹽反應後，幾乎全部轉變成 3 價鐵。

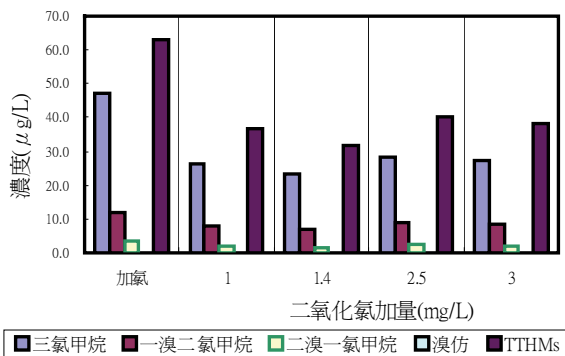


圖 16 不同二氧化氯濃度與加氯對 TTHMs 影響

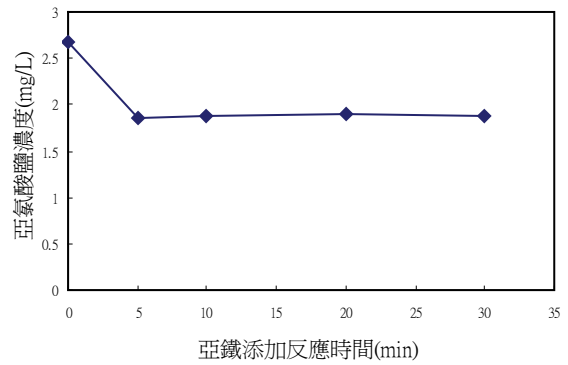


圖 17 不同亞鐵反應時間對亞氯酸鹽之影響

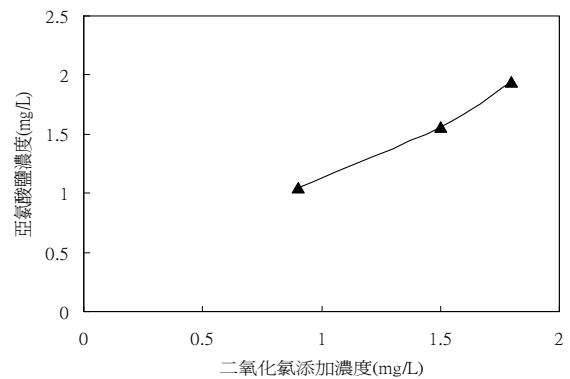


圖 18 不同二氧化氯添加濃度對亞氯酸鹽之影響

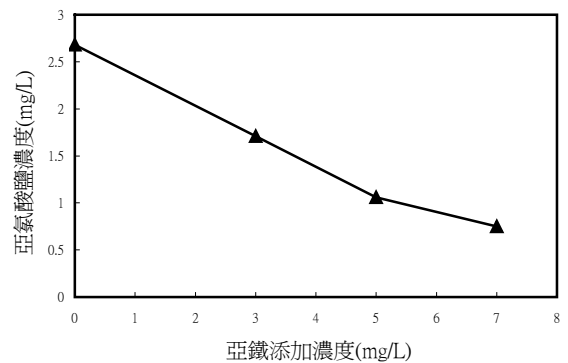


圖 19 不同亞鐵添加濃度對亞氯酸鹽之影響

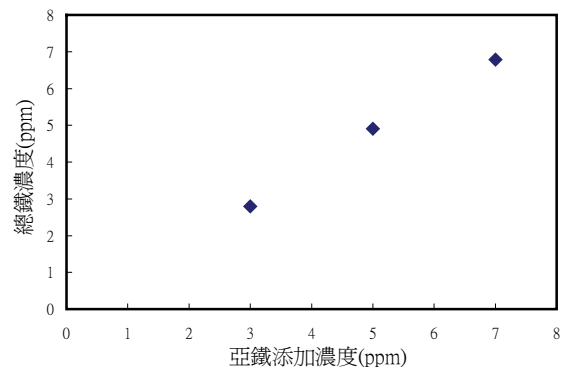


圖 20 不同亞鐵添加濃度試驗組所產生之總鐵濃度

四、結論

透過現地模廠試驗比較二氧化氯與傳統加氯之效能，在氧化效能方面，二氧化氯在氧化錳與鐵時去除率可達 100%，比加氯具有優勢，但二氧化氯對於 TOC、氨氮與砷之去除率約只有 10 ~ 30%，較加氯處理效能差。在消毒效能方面，加二氧化氯與加氯均可在 24 小時內維持理想的持續消毒殺菌效果，但超過 24 小時後持續消毒效能則以加氯為佳。在消毒副產物方面，二氧化氯雖可有效抑制 TTHMs 之生成，但亦會大量產生另一消毒副產物 - 亞氯酸鹽，可藉由降低二氧化氯添加濃度（低於 0.9 mg/L），或是添加亞鐵以氧化亞氯酸鹽加以控制亞氯酸鹽濃度。

綜合上述研究結果，可發現二氧化氯應用國內淨水場作為水質處理藥劑仍有下述缺點：

1. 當作為前氧化藥劑時，二氧化氯較適合之淨水場為原水含高鐵、錳或高 TOC（易產生 TTHMs）者，其他類型則仍以採用傳統加氯處理流程為佳。
2. 當作為後消毒藥劑時，淨水場原水若含高 TOC，使用二氧化氯可有效抑制 TTHMs 之產生，否則使用傳統加氯處理流程仍具有較良好且長效性之消毒效果。
3. 二氧化氯雖可有效抑制 TTHMs 之生成，但亦會產生另一會對人體健康造成威脅之消毒副產物-亞氯酸鹽，尚需使用亞鐵氧化設備等加以處理，將會增加處理成本。

我國現有淨水場已長期使用加氯作為淨水處理流程，且具有高 TOC 水質之淨水場數量較為稀少，若改選用二氧化氯作為淨水處理藥劑，則淨水場之加藥設施必須重新配

置，且其淨水處理效能有限，使得二氧化氯之使用在此並無明顯優勢，較不適合於台灣地區作為氧化或消毒淨水處理藥劑。

參考文獻

1. Attias, L., Contu, A., Loizzo, A., Massiglia, M., Valente, P. and Zapponi, G. A. (1995) "Trihalomethanes in Drinking Water and Cancer: Risk Assessment and Integrated Evaluation of Available Data, in Animals and Humans", *The Science of the Total Environment*, Vol. 171, pp. 61-68.
2. Skadsen, J. Ann Arbor Water Treatment Plant, 1998, personal communication.
3. Haberer, K. Survey of Disinfectants used in German water works. *Wasser-Abwasser*, 1994; 135, (7): 409-417.
4. USEPA (1999) "Alternative disinfectants and oxidants guidance manual." Technical Report, EPA 815-R-99-014.
5. 張金松 (2004) "飲用水二氧化氯淨化技術"，化學工業出版社。
6. Douglas D. Rittmann (2004) "Impact of Chlorine Dioxide and Chlorite Byproduct on Iron and Manganese Reduction." *Eka Purate* Product Bullrtin, Rev 1.
7. USEPA (2001) "Laboratory study on the oxidation of arsenic III to V." Technical Report, EPA 600-R-21-021.
8. 張懿文 (2004) "二氧化氯預氧化對混凝程序去除天然有機物及濁度效率影響之研究"，逢甲大學環境工程與科學研究所碩士論文。
9. 林世豪 (2003) "二氧化氯結合傳統淨水程序對有機物之控制研究"，逢甲大學環境工程與科學研究所碩士論文。
10. 陳妹樺 (2003) "二氧化氯為前氧化劑對淨

水混沉之影響探討”，逢甲大學環境工程與科學研究所碩士論文。

11. Nava Narkis, Robert Armon, Regina Offer, Frieda Orshansky and Eugenia Friedland (1995) “Effect of Suspended Solids on Wastewater Disinfection Efficiency by Chlorine Dioxide”, Water Research, Vol. 29, No. 1, pp227-236.
12. Huang, J., Wang, L. and Ren, N. (1997) “Disinfection effect of chlorine dioxide on bacteria in water.” Water Research, 33(3), 607-613.
13. Hofman, R., Andrews, R. C. and Ye, Q. (1997) “Chlorite formation when disinfecting drinking water to Giardia inactivation requirements using chlorine dioxide.” Proceedings of ASCE/CSCE Conference, Edmonton, Alberta.
14. 李榕菁 (2003) 「二氧化氯氧化水中腐植酸對消毒副產物生成及控制之研究」，逢甲大學環境工程與科學研究所碩士論文。
15. Gordon, G. and Bubnis, B. (1995) “Chlorine dioxide chemistry issues.” Proceedings of the Third International Symposium on Chlorine Dioxide: Drinking Water, Process Water, and Wastewater Issues, New Orleans, LA.
16. Karpel, V. L., DeLaat, J., Dore, M. and Suty, H. (1992) “Chlorite and chlorine dioxide removal by activated carbon.” Water Research, 26(8), 1053-1066.
17. Keith Field, Abraham Chen Lili Wang (2000) “Arsenic Removal from Drinking Water by Iron Removal Plants.” USEPA.
18. Metcalf & Eddy, Inc., 2003. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, 4th ed. New York: McGraw-Hill Co., Inc.
19. Gordon, G., B., B. Slotmaekers, S. Tachiyashikim and D. W. Wood, III. (1990)

“Minimizing Chlorite Ion and Chlorate Ion in Water Treated with ClO₂.”, Jour. AWWA, 82(4)160~165.

作者簡介

許倚哲先生

現職：財團法人中興工程顧問社 研究員

專長：薄膜處理技術

林哲昌先生

現職：財團法人中興工程顧問社 高級研究員

專長：水及廢水處理技術

許國恩先生

現職：財團法人中興工程顧問社 研究員

專長：高級氧化技術

朱敬平先生

現職：中興工程顧問社環研中心 研究員

專長：水再生處理

鍾裕仁先生

現職：中興工程顧問社環研中心 經理

專長：環境分析

光及溫度對聚氯化鋁濃度沉澱物影響之研究

文/許國樑

一、前言

聚氯化鋁化學形態屬於多核羥基配位化合物，是一類新型無機高分子膠凝劑，由於其在水處理中較傳統的硫酸鋁有更高的功效，近年得到了迅速的發展和應用。

自來水依「飲用水水質標準」^[1]規定，供水濁度的水質標準應小於 2NTU，因水中之濁度會促進細菌的生長繁殖並削弱消毒藥劑的殺菌作用。淨水場如果原水濁度高，自來水水質濁度為符合飲用水水質標準，則需採用聚氯化鋁環保署公告飲用水水質處理藥劑^[2]做為濁度膠凝劑。

聚氯化鋁在水解過程中帶正電，與水中帶負電無法沉降之細小固體懸浮物，經攪拌形成膠羽產生膠凝作用而沉澱，有以下優點：

- (一)在一般的原水條件下，膠凝效果優於常用硫酸鋁，硫酸亞鐵，三氯化鐵等。
- (二)膠體形成快，沉澱速度高，因而反應、沉澱時間可縮短。
- (三)在等投加量下，聚氯化鋁消耗的水中鹼度少。
- (四)適宜原水 pH 範圍比硫酸鋁寬，對原水溫度適應性比硫酸鋁強。

聚氯化鋁有上述優點，但在室溫儲存時，會有白色沉澱產生，製造廠商所提供之資料未提及白色沉澱物形成之原因，且日光照射或溫度升高是否會影響原有氧化鋁濃度亦未做詳細解說，且在淨水操作實際處理時，光及溫度對聚氯化鋁濃度沉澱物影響尚待確認，因此有需要予以探討。

二、文獻回顧

(一)聚氯化鋁內氧化鋁及硫酸根離子規範

聚氯化鋁氧化鋁及硫酸根離子依中國國家標準 CNS 12537 K12783 聚氯化鋁規範公告如表 1。

表 1 CNS 聚氯化鋁內氧化鋁及硫酸根離子規範

外觀	無色或稍帶黃色之淡棕色透明液體
氧化鋁 Al ₂ O ₃ wt%	10.0~11.0
硫酸根離子(SO ₄ ⁻²)%	3.5 以下

(二)聚氯化鋁生產流程-高壓法^[4]

將氫氧化鋁粉末與 32wt%鹽酸加入高壓反應槽中，並關閉所有的閥，通入蒸氣至反應槽中，溫度自動提高至 130℃，此時壓力約為 5 大氣壓。

反應完畢後開始冷卻，再經由壓濾機過濾，即可分離出成品聚氯化鋁與固態濾餅，濾餅再與 98wt%硫酸反應，過程中加入碳酸鈉進行中和，最後製程約含 7%的硫酸鋁溶液，所得之硫酸鋁溶液可另外出售或回收使用，亦可摻入聚氯化鋁成品中調製。

(三)聚氯化鋁生產流程-硫酸鈣法^[5]

將氫氧化鋁粉末與 32wt%鹽酸加入高壓反應槽中，在慢慢加入硫酸，此時產生的稀釋熱係提供鹽酸與氫氧化鋁反應所需的熱量來源。

反應完成後再加入碳酸鈣，以提供聚氯化鋁成品與中和少量硫酸根，最後再經由離心機分離出聚氯化鋁成品與固體硫酸鈣；硫酸鈣可轉賣當石膏或硫酸鈣板回收使用。

三、實驗材料與方法

(一)實驗材料

1. 分析天平：可精稱至 0.1 mg
2. 圓形燒杯：100 ml
3. 滴定管：25.00ml，準確度 0.05ml，滴定用
4. 加熱磁石攪拌器
5. 恆溫箱：樣品恆溫用追溯至標準溫度計
6. 照度計
7. 氫氧化鈉試藥級
8. EDTA 鈉鹽試藥級
9. EBT 試藥級
10. CaSO₄ 試藥級
11. HCl 試藥級
12. Zn 試藥級
13. Al 分析級 1000ppm
14. 乙酸鈉試藥級
15. EDTA 鎂鹽試藥級
16. 廣用試紙
17. 氯化銨試藥級
18. 氨水試藥級

(二)實驗方法

聚氯化鋁氧化鋁及硫酸根離子採用中國國家標準 CNS 12537 K1278 方法 3 及環境保護署公告水中總硬度檢測方法—EDTA 滴定法檢驗聚氯化鋁總硬度^[6]。

四、結果與討論

聚氯化鋁結構式^[7]以 $n [Al_2(OH)_x Cl_y(SO_4)_z]$ 表示如圖 1，此處 $1 < n < 15$ ； $0 < x < 6$ ； $0 < y < 6$ ； $0 < z < 3$ ，可以證明硫酸根離子是可以鍵結在聚氯化鋁結構內形成溶液狀態。

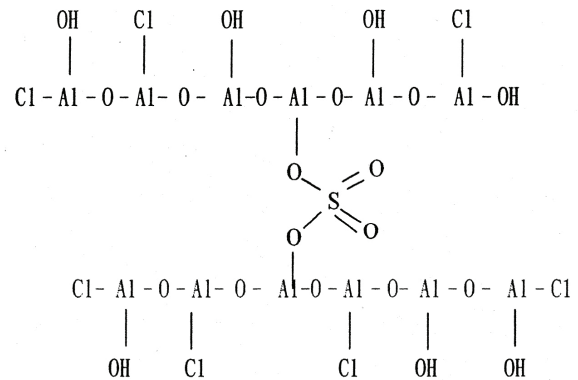


圖 1 聚氯化鋁結構式

聚氯化鋁不同生產流程以塑膠瓶採樣硫酸鈣法及高壓法各 2000ml，檢驗結果如表 2

表 2 聚氯化鋁不同生產流程檢驗結果表

項目	硫酸鈣法	高壓法
氧化鋁 Al ₂ O ₃ wt%	10.68	10.49
硫酸根離子(SO ₄ ²⁻)%	1.64	0.08

由表 2 得知，硫酸鈣法硫酸根離子為 1.64%，與高壓法硫酸根離子為 0.08% 有相當大的差異，硫酸根離子均在中國國家標準 CNS 12537 K1278 規範 3.5%以下合格範圍內。當日檢驗時，聚氯化鋁溶液沒有沉澱物產生，由圖 1 聚氯化鋁結構式，可以瞭解硫酸根離子是鍵結狀態。

(一)避光不同儲存溫度對聚氯化鋁濃度沉澱物影響評估

取聚氯化鋁溶液樣品 2000ml 收樣，分裝 500 ml 成 4 組，第 1 組避光儲存 4℃ 冰箱，第 2 組避光儲存 25℃ 恆溫培養箱，第 3 組避光儲存 35℃ 恆溫培養箱及第 4 組避光儲存 45℃ 恆溫培養箱。分別於儲存當日、經過第 1 天、經過第 10 天與經過第 30 天檢測氧化鋁濃度及觀察沉澱析出，檢測結果如表 3。

由表 3 第 1 組避光儲存 4℃ 得知，硫酸鈣法生產之聚氯化鋁，其硫酸根離子濃度比高

壓法約高 20 倍，無論是硫酸鈣法或高壓法均無沉澱產生，且氧化鋁濃度日平均衰減濃度均低於 0.002%。因此，儲存 4°C 避光，不論生產方法硫酸鈣法或高壓法，硫酸根離子鍵結在聚氯化鋁結構內，4°C 低溫狀態動能尚不能破壞硫酸根離子鍵結，屬穩定狀態。

第 2 組避光儲存 25°C 恆溫培養箱，硫酸鈣法第 1 天立即產生沉澱，而高壓法於 30 天內未產生沉澱。硫酸鈣法及高壓法氧化鋁濃度，取其上層澄清液檢驗結果，經 30 天氧化鋁日平均衰減濃度均為 0.003% 無大差異性，由此可得知硫酸鈣法避光儲存 25°C，硫酸根離子濃度比高壓法約高 20 倍，較易產生沉澱，但沉澱物對氧化鋁日平均衰減濃度影響極微，可忽略不計。

第 3 組避光儲存 35°C 恆溫培養箱，硫酸鈣法第 1 天立即產生沉澱，而高壓法於 30 天內未產生沉澱。硫酸鈣法及高壓法氧化鋁濃度，取其上層澄清液檢驗結果，氧化鋁日平均衰減濃度在 0.004% 以內，差異性與第 2 組

25°C 相似，由此可知溫度升高至 35°C，影響極微可忽略不計。

第 4 組避光儲存 45°C 恆溫培養箱，高壓法經過儲存 30 天才有沉澱產生。業經探討，係高壓法硫酸根離子濃度 0.08%，鍵結在聚氯化鋁結構內不多，但 45°C 儲存 30 天，動能已可以破壞鍵結析出硫酸根離子產生沉澱。

硫酸鈣法及高壓法氧化鋁濃度，取其上層澄清液檢驗結果，氧化鋁日平均衰減濃度在 0.005% 以內，由此可知溫度升高至 45°C，亦與第 3 組、第 2 組相似，影響極微可忽略不計，沉澱產生原因可再加以探討。

由表 2 硫酸鈣法及高壓法在不同儲存溫度對氧化鋁日平均衰減濃度做成圖 2 趨勢圖。由圖 2 顯示，硫酸鈣法及高壓法氧化鋁日平均衰減濃度趨勢隨溫度上升呈現速率增加情形，惟日平均衰減濃度在 0.010 % 以內，升溫至 45°C 回歸原氧化鋁濃度是在千分之一以內，因此硫酸鈣法及高壓法氧化鋁日平均衰減濃度受溫度影響極微，可忽略不計。

表 3 不同儲存溫度避光對濃度沉澱物檢驗結果表

組別	儲存溫度 (°C)	生產方法	氧化鋁濃度%				日平均衰減濃度 (%)
			當日	1 日	10 天	30 天	
1	4	硫酸鈣法	10.68	10.68	10.65	10.62	0.001
		高壓法	10.58	10.58	10.56	10.52	0.002
2	25	硫酸鈣法	10.68	10.66(ppt ↓)	10.61(ppt ↓)	10.60(ppt ↓)	0.003
		高壓法	10.58	10.49	10.49	10.48	0.003
3	35	硫酸鈣法	10.68	10.64(ppt ↓)	10.59(ppt ↓)	10.56(ppt ↓)	0.004
		高壓法	10.58	10.49	10.43	10.48	0.003
4	45	硫酸鈣法	10.68	10.60(ppt ↓)	10.61(ppt ↓)	10.56(ppt ↓)	0.004
		高壓法	10.58	10.41	10.40	10.43(ppt ↓)	0.005

備註：ppt ↓ 表示樣品儲存有沉澱產生

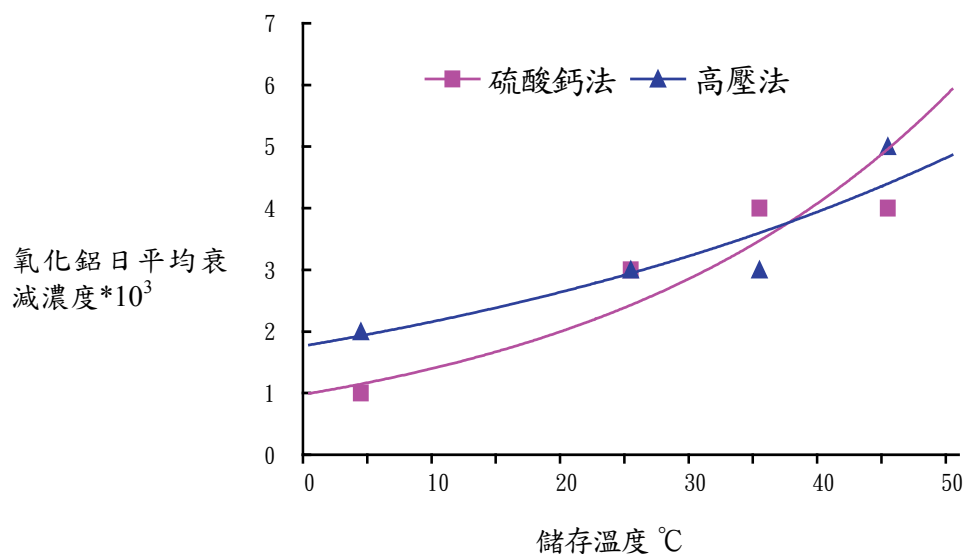


圖 2 硫酸鈣法及高壓法在不同儲存溫度對氧化鋁日平均衰減濃度趨勢圖

表 4 日光照射對氧化鋁濃度影響檢測結果表

組別	生產方法	儲存條件	氧化鋁濃度%				日平均衰減濃度
			當日	1 天	2 天	3 天	
1	硫酸鈣法	45°C 避光	10.56	10.54	10.53	10.52	0.013
		日光照射	10.56	10.53	10.49	10.46	0.020
2	高壓法	45°C 避光	10.43	10.41	10.41	10.40	0.010
		日光照射	10.43	10.41	10.40	10.39	0.013

綜上所述，硫酸鈣法及高壓法對氧化鋁日平均衰減濃度趨勢，受溫度及沉澱物影響極微，均可忽略不計。

(二) 沉澱物鹽析效應與儲槽因子異核效應對聚氯化鋁濃度影響探討

次氯酸鈉溶液儲存濃度衰減會有鹽析效應與儲槽因子異核效應，不利於次氯酸鈉溶液濃度之安定性^[8]。由表 2 得知，沉澱之產生並無加速硫酸鈣法與高壓法氧化鋁濃度之衰減，所以沉澱物無鹽析效應，且儲存過程中不產生氣泡亦無儲槽因子異核效應。

(三) 日光照射聚氯化鋁對濃度之影響分析

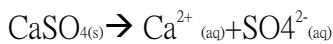
淨水用藥次氯酸鈉溶液濃度會因光照射隨時間而加速衰減^[8]，為避免沉澱之影響，取表 2 硫酸鈣法與高壓法經過 45°C 避光保存 30

天上層澄清液樣品 400ml，以 200ml 分裝於 500ml 塑膠瓶封成 2 組，1 組在 45°C 儲存，另 1 組在日光下不分日夜照射 3 天儲存做比對(中午 1 時最大日光強度為 1000 Lux)，照射 3 天每日中午 1 時採樣檢測結果如表 4。

由表 4 得知，2 組樣品結果均未再產生沉澱，聚氯化鋁 45°C 避光與日光照射 3 天儲存，硫酸鈣法氧化鋁濃度衰減 3 天差異度 0.06%(10.52%減 10.46%)、高壓法差異度衰減 3 天差異度 0.01%(10.40%減 10.39%)，且日平均衰減濃度硫酸鈣法與高壓法均在 0.020% 以下，照射 3 天回歸原氧化鋁濃度是在五分之一以內，所以硫酸鈣法及高壓法氧化鋁日平均衰減濃度受日光照射影響極微，可忽略不計。

(四)聚氯化鋁沉澱形成原因之探討

由參考文獻得知聚氯化鋁生產流程，硫酸鈣法有使用硫酸及碳酸鈣，而高壓法通入蒸氣，硫酸鈣法 25°C 儲存易產生沉澱而高壓法不產生沉澱，硫酸根離子與鈣離子的存在是否為沉澱形成原因，可由硫酸鈣溶解度積常數予以探討。查硫酸鈣溶解度積常數^[9]，25°C 下 $K_{sp}=2.5 \times 10^{-5}$ 。



這個方程式顯示當 1mole 的硫酸鈣溶解，會解離出 1mole 的 Ca^{2+} 和 1mole 的 SO_4^{2-} ，假設每公升溶液中會溶解 S mole 的硫酸鈣，因此離子的濃度為 $[SO_4^{2-}]=S$ 和 $[Ca^{2+}]=S$ ， $K_{sp}=[Ca^{2+}] \times [SO_4^{2-}]=S \times S=S^2=2.5 \times 10^{-5}$ ，解方程式得 $S=5.0 \times 10^{-3}(M)$ ，得知硫酸根離子在純水中的溶解度約為 $5.0 \times 10^{-3}(M) \times 96(g/mole)=0.48g/L$ 。聚氯化鋁比重以 1.2 估算，則 $0.48g/L$ 換算成重量百分比濃度為 $0.48 \div (1000 \times 1.2) \times 100\%=0.04\%$ 。鈣離子在純水中的溶解度約為 $5.0 \times 10^{-3}M \times 40g/mole =0.20g/L=200mg/L$ ，換算成總硬度為 500mg/L。

聚氯化鋁含硫酸鈣溶液，硫酸鈣飽和不沉澱，硫酸根離子若為 0.04%，則總硬度不得高於 500mg/L。依環境保護署公告水中總硬度檢測方法—EDTA 滴定法 6 檢驗硫酸鈣法與高壓法樣品之總硬度，結果如表 5。

由表 5 得知高壓法總硬度 $6.0 \times 10^3 mg/L$ ，由硫酸鈣 K_{sp} 計算硫酸根離子飽和濃度為 0.0033%，表 2 得知高壓法硫酸根離子濃度 0.08% 大於硫酸根離子 0.0033% 飽和濃度，硫

酸根離子若不鍵結在聚氯化鋁結構內，溶解度積大於 K_{sp} 必會產生硫酸鈣沉澱，為聚氯化鋁沉澱形成之原因。而硫酸鈣法硫酸根離子濃度 1.64 %，比高壓法 0.08% 約高 20 倍，且硫酸鈣法總硬度 $1.0 \times 10^4 mg/L$ 比高壓法 $6.0 \times 10^3 mg/L$ 高出 16 倍，所以沉澱形成趨勢比高壓法更大。

表 5 聚氯化鋁總硬度檢驗結果表

檢驗項目	硫酸鈣法	高壓法
總硬度(mg/L)	1.0×10^4	6.0×10^3

由表 3 高壓法與硫酸鈣法儲存 4°C 避光均不產生沉澱，分析原因係因 4°C 動能尚不能破壞鍵結析出硫酸根離子，硫酸根離子均鍵結在聚氯化鋁結構內不析出。而不同儲存溫度 25°C、35°C 及 45°C 儲存，產生沉澱的情形係因動能已能破壞鍵結析出硫酸根離子，此時溶解度積大於 K_{sp} 而產生硫酸鈣沉澱，可以由 K_{sp} 原理得到說明。

(五)聚氯化鋁硫酸根離子鍵結可逆反應可行性分析

取表 2 硫酸鈣法儲存 25°C 30 天已達完全沉澱，取含有硫酸鈣沉澱之聚氯化鋁分成 2 組，第 1 組 25°C 不升溫攪拌，第 2 組加熱攪拌升溫至沸騰 106°C 檢驗結果如表 6。

由表 6 得知，聚氯化鋁硫酸鈣沉澱再予以加熱攪拌升溫至沸騰 106°C，硫酸鈣沉澱又漸漸完全溶解，硫酸根離子再度鍵結至聚氯化鋁結構內，形成可逆反應。

表 6 聚氯化鋁硫酸鈣沉澱不同溫度攪拌可逆反應分析結果表

組別	操作條件	沉澱溶解反應	反應類型
1	25°C 不升溫攪拌	硫酸鈣沉澱無法溶解	不可逆反應
2	加熱攪拌升溫至沸騰 106°C	硫酸鈣沉澱漸漸完全溶解形成淡黃色溶液	可逆反應

五、結論

硫酸根離子鍵結在聚氯化鋁結構內，儲存產生白色沉澱，經日光照射或溫度升高是否均會影響原有氧化鋁濃度，在淨水操作需加以探討，讓管理人員有更深一層之認知，以提昇管理知能，研究結論如下：

1. 硫酸鈣法生產之聚氯化鋁，硫酸鈣法硫酸根離子濃度比高壓法高出約 20 倍，硫酸根離子可鍵結在聚氯化鋁結構內，硫酸根離子鍵結會因溫度升高，動能增加，因而破壞鍵結析出硫酸根離子。
2. 高壓法與硫酸鈣法避光儲存 4°C 均不產生沉澱，分析原因係因 4°C 動能尚不能破壞鍵結析出硫酸根離子，而不同儲存溫度 25°C、35°C 及 45°C 儲存產生沉澱，係因溫度升高，動能增加，硫酸根離子已破壞鍵結析出，溶解度積大於 K_{sp} 而產生硫酸鈣沉澱。溫度升高硫酸根離子析出速率愈快，硫酸根離子濃度愈高，愈容易產生沉澱。
3. 硫酸鈣法及高壓法氧化鋁日平均衰減濃度受溫度影響極微，升溫至 45°C 回歸原氧化鋁濃度是在千分之一以內，可忽略不計。
4. 硫酸鈣法及高壓法氧化鋁日平均衰減濃度無鹽析效應，儲存過程中不產生氣泡亦無儲槽因子異核效應。
5. 硫酸鈣法及高壓法聚氯化鋁濃度析出沉澱後，日光照射對聚氯化鋁日平均衰減濃度影響極微，照射 3 天回歸原氧化鋁濃度是在五分之一以內，可忽略不計。
6. 聚氯化鋁硫酸鈣沉澱 25°C 不升溫攪拌，沉澱無法溶解，可逆反應不可行。
7. 聚氯化鋁硫酸鈣沉澱予以加熱攪拌升溫至沸騰 106°C，硫酸鈣沉澱漸漸完全溶解形成

淡黃色溶液，硫酸根離子再度鍵結至聚氯化鋁結構內，形成可逆反應。

參考文獻

1. 飲用水水質標準，中華民國98年11月26日行政院環境保護署環署毒字第0980106331E號公告。
2. 飲用水處理藥劑聚氯化鋁中重金屬不純物含量檢測之樣品製備法，中華民國95年8月2日環署檢字第0950061473D號公告。
3. 中國國家標準CNS 12537 K1278，94年5月13日經濟部標準檢驗局
4. 台灣自來水公司，高純度Al13混凝劑之混凝特性與製備研究，p 2-8~ p 2-9，2006。
5. 台灣自來水公司，高純度Al13混凝劑之混凝特性與製備研究，p 2-9~ p 2-10，2006。
6. 水中總硬度檢測方法—EDTA滴定法，行政院環境保護署中華民國95年7月21日環署檢字第0950058417號公告。
7. 美國專利US Patent 5,879,651。
8. 自來水公司第九區管理處檢驗室光及溫度對次氯酸鈉濃度衰減影響因子之研究報告，許國樑，2006。
9. 茂昌圖書有限公司，楊萬發，水及廢水處理化學，p 518，1993。

作者簡介

許國樑先生

現職：臺灣自來水股份有限公司第九區管理處檢驗室主任

專長：化學檢驗

台水公司水庫水源微囊藻毒含量之調查研究

文/李貞慧、吳美惠、張禧麗、廖福全、黃瑞聰、吳美炷、林彥宏、許惠佳

摘要

在優養化的水庫中，藍綠藻(現稱藍綠細菌)常是水體中主要的藻類，而在藍綠藻產生之藍綠細菌毒素中，微囊藻毒素則是富營養化淡水水體中最常見的藻類毒素，它是一類具有多種異構體的環狀多肽物質，由於分佈廣且具毒性，因此成爲水環境中的重要潛在危害物質。

爲維護民眾飲用水安全，掌握水源情況，本研究在 2006 年至 2008 年間，採集台灣自來水司(以下簡稱自來水公司)主要使用水庫表水及其相關淨水場原、清水水樣，以顯微鏡鏡檢觀察，建立微囊藻之判斷技術，並以酵素免疫分析法(簡稱 ELISA)進行微囊藻毒素濃度檢測。

本研究建立自來水公司水庫水源及其相關淨水場之微囊藻毒數據背景資料，了解國內微囊藻毒流佈情況。依本研究檢驗結果指出，自 2006 年迄 2008 年之檢測結果，甚少檢出微囊藻毒(檢出比例僅有 0.56%)，即使於夏季枯水時期偶有檢出，檢出濃度均遠低於世界衛生組織之建議值(每公升 1 微克)。這些檢測結果證明國人飲用處理過後之自來水含有微囊藻毒風險值趨近零。

一、前言

在水資源統籌運用上，台灣的水庫具有防洪、灌溉、公共給水..等重要功能。依據資料統計，台灣地區 7 成以上的自來水水源來自水庫，顯示水庫水質與民眾生活息息相關，因此政府及全體國民一向高度重視水庫

水質之優劣。

近年來，台灣地區水庫水質受到集水區人類活動的影響，有機性污染物及營養鹽流入水庫，使得水庫水中氮磷營養源增加，進而發生部份水庫的優養化的問題。這些水庫逐步的優養化，容易造成微囊藻(Microcystis sp.)、魚腥藻(anabaena sp.)、柱孢藻(Cylindrospermopsis sp.)等藍綠藻(現稱藍綠細菌)等藻類大量繁殖，進而產生藍綠細菌毒素(cyanobacterial toxin 或 cyanotoxin)，造成水質惡化的問題。

在藍綠藻產生之藍綠細菌毒素中，微囊藻毒素是富營養化淡水水體中最常見的藻類毒素。近年來由於分析方法與儀器之進步，世界上許多國家的淡水水體陸續被檢測出具微囊藻毒存在，再加上 1993 年及 1996 年巴西分別發生藻毒致死的事件，使得微囊藻毒素引起世人注意。

台灣地區過去對於自來水水源之藻毒含量的研究較爲缺乏，惟自 2005 年報導提及牡丹及曾文水庫驗出藻類產生的肝毒素後，台灣在這方面的研究陸續被發表，顯示藻類毒素的監測與處理已經成爲現今一個重要的課題。

爲掌握水源情況，提供安全飲用水，自來水公司自 1980 年代即已開始進行各水源水庫中藻類的調查。只是，在早期水公司比較著重於建立水庫基本資料及研究因藻類所引起的臭味、色度、及濾床阻塞等水處理問題。近年來，水公司經一連串的學習與努力，自 2006 年起開始針對各水源水庫之庫水

及相關淨水場之原水及清水辦理微囊藻毒相關之檢測。

二、研究方法

本研究於 2006 年至 2008 年間進行，依據採樣計劃及相關方法之規定採集自來水公司作為水源之主要水庫表水及其相關淨水場之原水及清水水樣。這些水庫包括新山水庫、西勢水庫、石門水庫、永和山水庫、寶山水庫、寶山第二水庫、明德水庫、石岡壩水庫、鯉魚潭水庫、日月潭水庫、蘭潭水庫、仁義潭水庫、鏡面水庫、南化水庫、烏山頭水庫、白河水庫、鳳山水庫、澄清湖水庫、牡丹水庫、成功水庫、鳶山堰水庫等。水樣採集後先以顯微鏡鏡檢觀察，建立微囊藻之判斷技術，並以酵素結合免疫吸附法（簡稱 ELISA）進行微囊藻毒濃度檢測，建立本公司水源水庫中微囊藻毒數據背景資料。此外，本計畫亦同時進行各水樣之土霉味、腐植物質、及葉綠素 a 等之監測及分析，掌控各水源水庫之水質，以維護飲用水之安全。

三、結果與討論

(一)顯微鏡觀察鏡檢結果

在本研究期間共計採取 452 件水庫表水水樣，以顯微鏡觀察影像，而後影像經過 VF 數位影像擷取系統，IMAGE PRO PLUS5.1 影像分析處理軟體。

本項鏡檢結果發現：以水庫別分析，中部石岡壩及日月潭水庫最佳，23 個月的採樣及鏡檢均未檢出微囊藻，寶山第二水庫 9 個月的採樣及鏡檢亦未檢出微囊藻，而最北部之新山水庫則較常發現微囊藻蹤跡如圖 1。如依發生季節分析，則可發現夏季、秋季較

易以顯微鏡觀察鏡檢出微囊藻。

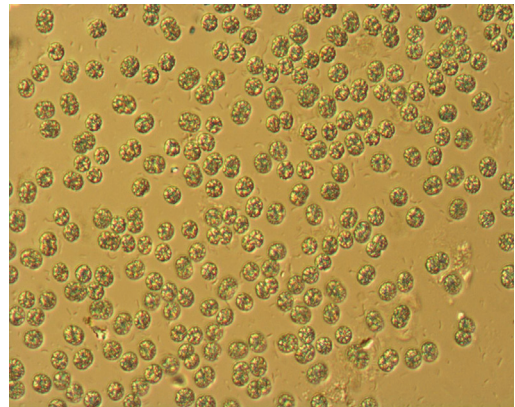


圖 1 微囊藻

(二)微囊藻毒素分析結果

本研究使用酵素免疫分析法（簡稱 ELISA）進行微囊藻毒素濃度檢測（檢驗儀器詳圖 2）。相關之品管數據如下：檢量線之相關係數絕對值(R)大於 0.98，添加樣品之回收率(%)介於 70%~130%，重覆分析相對差異百分比(%)小於 30%，標準品查核之回收率(%)介於 80%~120%，偵測極限值最低可達 0.1ppb。

依據檢驗結果統計分析，2006 年共檢驗水庫或水源 404 件、淨水場原水 239 件、及淨水場清水 263 件，總計 906 件，其中 896 件未檢出微囊藻毒，10 件有檢出（檢出比例為 1.1%）；2007 年檢驗水庫或水源 251 件、淨水場原水 143 件、淨水場清水 162 件，總計 556 件，其中 555 件未檢出微囊藻毒，1 件有檢出（檢出比例為 0.18%）；2008 年檢驗水庫或水源 169 件、淨水場原水 165 件、淨水場清水 179 件，總計 513 件，全部 513 件未檢出微囊藻毒（檢出比例為 0.00%）；總計三年共檢驗 1975 件，其中 1964 件未檢出微囊藻毒，11 件有檢出，檢出比例為 0.56%，這顯示出在水公司之水庫水源及相關之淨水場中微囊藻毒甚少被檢出，而且微囊藻毒

現象在台灣有逐年改善情況。(表 1)。此外，依據 2006 年迄 2008 年之微囊藻毒總體檢驗結果可知，水公司之水源即使於夏季枯水時期偶被檢出，其檢出濃度亦低（檢出最高濃度 $0.68 \mu\text{g/L}$ ，遠低於世界衛生組織之建議值 $1 \mu\text{g/L}$ ），而且三年內，各水源水庫相關淨水場之供水僅於 2006 年被檢出微囊藻毒 2 次（檢出率僅 0.10%，檢出濃度遠低於世界衛生組織之建議值）。這顯示目前淨水場處理效果尚佳，可藉由水處理技術去除水中微囊藻毒。而經處理後之自來水含有微囊藻毒風險值趨近零。

(三)土霉味物質檢測結果

土霉味物質的來源常是放線菌（actinomycetes）、藍綠藻（Cyanobacteria）代謝釋放。其影響的並非人體健康，而是口感，常會引起民眾對水質之抱怨與安全之疑慮。在本研究中利用吹氣捕捉設備（Purge & Trap）作為濃縮方法，配合氣相層析質譜儀，以化合物的相對滯留時間及質譜來檢測分析水相樣品中的土霉味物質 2-MIB 及 Geosmin（2-甲基冰片）及 2-MIB（反-1,10-二甲基-反-9-萘烷醇）的成分與含量（檢驗儀器如圖 3）。

由檢測結果可以發現：在夏季溫度較高或者是枯水期時，較易由水庫表水中檢測出

檢測出 2-MIB 及 Geosmin。而且離島地區水庫表水檢驗出之土霉味濃度較高，南部地區次之，北部及中部則較低。

土霉物質 2-MIB 及 Geosmin 濃度隨著季節有變化的趨勢，在較溫暖的季節，其濃度值也相對較高，在台灣南部地區 2-MIB 檢出的數值普遍比 Geosmin 大；在台灣中部地區 2-MIB 檢出的數值則普遍比 Geosmin 小，但其檢驗出來的數值均不高，而當水庫水量增加時，因水之稀釋作用，水中土霉味物質均有降低趨勢。



圖 2 酵素免疫分析法(ELISA)檢驗儀器



圖 3 吹氣捕捉設備氣相層析質譜儀

表 1 2006 年至 2008 年微囊藻毒採樣數分析

採樣日期	水庫水源採樣數	淨水場原水採樣數	淨水場清水採樣數	總採樣數	檢出 水樣數	檢出比例 (%)	檢出最高濃 度 ($\mu\text{g/L}$)
2006 年	404	239	263	906	10	1.10	0.68
2007 年	251	143	162	556	1	0.18	0.2
2008 年	169	165	179	513	0	0.00	<0.1
合計	824	547	604	1975	11	0.56	0.68

在本次土霉味物質 2-MIB 與 Geosmin 檢驗中，採集之水樣檢出之濃度高於一般人嗅覺可感受的閾值 10 奈克(ng/L)之比例相當低 (<10%)，而且高於可感受的閾值的樣品大多為水庫水源樣品或淨水場原水樣品。清水水樣濃度則甚少高於可感受的閾值。

(四)腐植物質檢測結果

本計劃利用腐植物質受紫外光照射產生螢光之物質，探討不同水庫與不同深度腐植物質之濃度差異，檢驗結果發現水庫上中下層的腐質物質趨勢大致相同，而且常常是下層水的腐植物質濃度較上層水的腐植物質濃度高。

此外，由檢測結果可以發現離島水庫檢驗出之腐植物質檢測濃度較高，南部地區次之，北部及中部則較低。

(五)葉綠素 a 檢測結果

本研究中利用 UV 偵測葉綠素 a 濃度，依本研究 2008 年水庫上層葉綠素 a 檢測結果可知：離島水庫檢驗出之葉綠素 a 較高，南部地區次之，北部及中部則較低；葉綠素 a 濃度隨著季節有變化的趨勢，在較溫暖的季節，其濃度值也相對較高。此外，夏季時節水中葉綠素 a 濃度確有升高情事。

根據世界衛生組織休憩用水管理指引，常有檢驗單位採用葉綠素 a 為微囊藻毒素之參考指標。因此，本研究亦擬探討不同水庫葉綠素 a 濃度與水庫微囊藻濃度之相關性，惟因本次水庫微囊藻濃度甚少檢出，故此二者之相關性並不明顯。而依據 2007 年 11 月台灣環檢所新聞稿亦表示國內水庫普遍藻類較多的情形，葉綠素 a 做為辨別微囊藻華的依據仍有一段差距。

四、結論

- (一)本計畫養成水公司在微囊藻鏡檢及微囊藻毒檢測之能力、建立水公司水庫水源及其相關淨水場之微囊藻毒數據背景資料，了解國內微囊藻毒流佈情況。
- (二)依據本研究於 2006 年至 2008 年之微囊藻毒檢驗結果，目前水公司之供水應無微囊藻毒危害之風險。而曾被檢出之各相關水庫，亦已持續監測，期能及早發現問題及進行改善。
- (三)微囊藻主要存活於水庫之表面層，而水公司取水位置多為水面下中層庫水，遠離藻類活動地區，故微囊藻應不會進入淨水處理程序。因此存在於藻體內之藻毒應不會污染進入供水中，這合理解釋為何淨水場之原水及清水之檢出率較水庫表水之檢出率低很多。
- (四)微囊藻繁殖係由於溫度、光照及水中營養源豐富等綜合因素，在擾動少的優養化水庫中下風處，繁殖形成藻華。為防止水庫優養化，最直接有效的方法就是控制污染源的進入，為維護水源水質安全，建請相關權責單位加強水庫水源保護區之水污染防治督導工作，俾確保水源水質安全，進而保障全民飲用水安全。
- (五)實驗中亦針對影響口感之 Geosmin 及 2-MIB，水公司各水源水庫水質及相關淨水場之原水及清水檢出高於可感受的閾值之比例勝甚低 (<10%)，而且高於可感受的閾值的樣品大都為水庫水源樣品或淨水場原水樣品。清水水樣濃度則甚少高於可感受的閾值。
- (六)未來水公司將持續監測水庫水源中微囊藻毒，並引進更新技術及儀器，以增進檢測效率及數據品質。

參考文獻

- 1.林財富、曾怡禎，藻類毒素之來源、流佈、分析與去除之介紹，成功大學環境工程學系、成功大學生命科學系。
- 2.黃壬瑰、尹開民、李秋萍等，微囊藻分子生物篩選及其藻毒分析技術建置計畫，九十五年二月。
- 3.林財富、賴雪端、童淑珠、劉家玲、林志威、黃毓茹、鄭仲凱、何玉琦，水中Geosmin及2-Methylisoborneol 檢測方法之建立 EPA-91-E3S3-02-02。
- 4.林財富、曾怡禎、Mike Burch、張怡怡、邱成財、吳哲宏、顏宏愷、陳日雷、李明潔、連紹凱、曾韻璇，飲用水水源及水質中產毒藻種及藻類毒素之研究，行政院環境保護署，96年。
- 5.黃壬瑰、李秋萍、劉素妙攀復華等，國內水庫水源水質中微囊藻及其藻毒調查與預警模式之建立，九十六年三月。
- 6.林財富、顏宏愷、童淑珠、王奕軒、曾怡禎、葉宣顯、張怡怡，自來水中兩類藍綠菌代謝物之流佈與管制，自來水會刊雜誌第25卷第1期，95年2月。
- 7.周宏農，台灣水域特殊微藻之毒素與活性物質研究，台灣大學漁業科學研究所，86年。
- 8.胡舒劄、賴俊熹、黃文鑑，Purge & Trap分析水相微量臭味物質Geosmin及2-MIB之研究。
- 9.黃家勤，行政院國家科學委員會，96年，水庫優養化機制之關鍵性問題探討。
- 10.吳先琪，95年，台灣大學環境工程研究所，水庫優養及藻類物種多樣性動態預測模式及水體物化因子影響之研究。
- 11.駱尚廉、蔡淑芬、萬哲勳、張方貞，水庫優養化資料庫及專家系統研究，台灣大學環境工程研究所，80年六月。
- 12.財團法人中興工程顧問社，92年，水庫水源臭味物質成分分析調查及臭味減除效果之研

究。

13.陳衍昌，微囊藻，國立海洋大學水產養殖系 931027。

14 全國環境水質監測資訊網」，網址 <http://www.epa.gov.tw/wqm>。

作者簡介

李貞慧女士

現職：台灣自來水股份有限公司 工程師

專長：水質檢驗

吳美惠女士

現職：台灣自來水股份有限公司 處長

專長：水質管理

張禧麗女士

現職：台灣自來水股份有限公司 副處長

專長：水質管理

廖福全先生

現職：台灣自來水股份有限公司 組長

專長：水質管理

黃瑞聰先生

現職：台灣自來水股份有限公司 技術士

專長：水質檢驗

吳美炷女士

現職：台灣自來水股份有限公司 工程員

專長：水質檢驗

林彥宏先生

現職：台灣自來水股份有限公司 技術士

專長：水質檢驗

許惠佳女士

現職：台灣自來水股份有限公司 技術士

專長：水質檢驗

水庫藍綠菌毒素潛勢快速監測技術發展與評析

文/林財富、道中敦子、張德威、邱宜亭、吳哲宏

摘要

本文旨在探討水庫中藍綠菌毒素之快速監測技術發展現況，首先評析常用之藻類毒性、毒素、以及毒素(生成)潛勢分析技術，並探討其應用於現地快速監測之可行性。研究中並評析或測試四種現場快速監測毒素潛勢之技術方法，發現現地水質分析儀結合活體螢光分析較適用於高濃度藍綠菌水體下，酵素免疫吸附與分子生物法則可以提供 4 天以上毒素潛勢預警時間，流式細胞照相儀理論上應具有水庫藍綠菌監測應用潛力，但目前飲用水水庫測試案例仍少。該四項技術各具優缺點，後續應持續進行研究，探討彼此間之互補性，使藻毒素潛勢預警更臻完善。

一、前言

地面水水庫為台灣公共給水主要水源，然而因水庫集水區及水庫內部營養鹽負荷高、管理困難，造成一半以上之主要水庫有水質優養化之問題(林與顏, 2009)。優養化的淡水水庫中，藍綠細菌(cyanobacteria)(舊稱藍綠藻)常是水體中主要的微生物，尤其包含了數種常見種具產生毒素能力的菌，例如：微囊藻 (*Microcystis* sp.) 與柱孢藻 (*Cylindrospermopsis* sp.) 等，會產生藍綠細菌毒素(cyanobacterial toxin 或 cyanotoxin)，造成水質安全受影響。由於藍綠細菌毒素兼具急毒性及慢性毒性，高濃度情況下會造成用水及水庫遊憩安全問題 (Haider et al., 2003)，低濃度則可能造成慢性疾病(Grosse et al.,

2006)，因此非常值得重視。

水庫中藍綠菌之生長與毒素之產生，受到許多環境及氣候因子之影響，會隨著水庫特性及季節因素變動，很難預測其發生時機。因此為保障民眾用水安全，必須擁有快速而準確的監測技術，以早期掌握藍綠菌毒素發生潛勢，並做為水庫與水廠管理單位採取因應措施之依據，進而降低民眾暴露風險。

本文即在於探討偵測水庫藍綠菌毒素發生潛勢之技術發展現況，主要由毒素監測及發生潛勢監測兩個方向著手，先介紹現有常用技術分類、及快速監測可行性，然後就快速監測技術發展現況、以及國內應用結果說明，最後並評估其用於水庫預警之可行性。

二、水庫毒素潛勢分析技術

(一)水中藍綠菌毒素與生成潛勢分析技術

針對水庫毒素潛勢之分析技術，可以依其分析之目標分成三類：毒性分析、毒素分析、以及毒素(生成)潛勢分析。毒性分析係直接測試水中有害物質之總毒性，常用之方法如大鼠實驗 (Mouse bioassay) 及細胞感知檢測 (Cell receptor assay) 等；惟該類方法通常需要較高之技術門檻、以及較長之分析時間，且樣品需運回實驗室分析。另外，該類技術，對於低濃度之毒素無法有效偵測，通常是用於已經發生嚴重藻華時，擔心其含有未知毒素時使用。

毒素分析方法則係直接測量水中已知之目標毒素，常用方法包括以液相層析儀為

基礎之化學分析方法，以及以酵素免疫吸附法 (Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)。液相層析儀(結合質譜儀)可以分析包括微囊藻毒素在內的多種已知毒素，且偵測極限可以達 $0.01 \mu\text{g/L}$ 以下，遠低於常見毒素法規要求的 $\mu\text{g/L}$ 等級，是一功能非常強的工具。但是要達到低偵測極限，通常需要有前濃縮裝置，樣品需攜回實驗室，因此分析時間需要在一個工作天以上，且儀器初設成本高(約千萬台幣等級)、分析人員需求專業程度高。相對而言，ELISA 則具有分析速度快的優勢，通常水樣僅需檢易前處理，約在 1-2 小時可以完成分析，且儀器初設成本低(約數十萬)。但是 ELISA 需針對不同類別毒素，使用不同偵測套件，目前常見的商品化毒素套件包括定量總微囊藻毒素及結球藻毒素套件、柱孢藻毒素套件及貝類毒素套件，前兩者偵測極限均在 $0.1 \mu\text{g/L}$ 附近，後者則更低。

毒素(生成)潛勢分析，則係以產毒藻類為基礎之分析方法，由於水中常見藍綠菌毒素多存於細胞內，因此若是水中無藍綠菌或產毒藍綠菌，則其毒素存在或生成潛勢應該相對就很低。此部分的分析方法可以分成光學方法以及分子生物分析方法兩大類，前者又可以分類為傳統顯微鏡分析方法、流式細胞儀分析方法、以及色素分析方法。在傳統顯微鏡分析方法方面，係利用光學顯微鏡以人工方式，進行水樣中藻種鑑定與目標藻種之藻體數定量，一般對於水中藍綠菌若要鑑定至菌屬(genus)較容易，但是若要判定至菌種(species)，則技術人員需要長時間之訓練，且即使是外觀上判定同一菌種，亦無法判定

為會產毒或不產毒的藻株(strain)；另外，其缺點為計數時間需要很久、且人為誤差較大。流式細胞儀分析方法則為結合快速顆粒計數及色素判定或高速照相解析，找出藍綠菌數量；該方法具有快速分析藍綠菌數、甚至菌屬分佈之能力，但是如同前面傳統顯微鏡鏡檢方法，若要判定至菌種，則技術人員需要長時間之訓練，除非結合 DNA 染色，否則亦無法判定為會產毒或不產毒的菌株。光學色素分析方法則藉分析藍綠菌中之色素，找出藍綠菌之數量，藍綠菌中常見之色素包括葉綠素(chlorophyll)、藻藍素(phycoyanin)(適用於淡水藍綠菌)、或藻紅蛋白(phycoerythrin)(適用於海水藍綠菌)。雖然色素分析有多種不同方法，例如標準分析方法中葉綠素可使用一般光學分析法分析，色素也可以利用液相層析法分析，但是目前最簡便常用的方法是活體螢光分析(in-vivo fluorometry, IVF)。該方法是利用色素受激發發出螢光之特性，由特定螢光之強度，推估水中色素的濃度，進而推估水中藻類及藍綠菌濃度。由於本方法實際上是分析葉綠素及藻藍素，因此僅能就藍綠菌進行總菌數定量，無法判斷個別菌屬或種。分子生物方法則是直接量測水中藍綠菌產生毒素的功能性基因(functional genes)片段，可以有效直接定量產毒基因濃度，進而推估產毒藍綠菌菌數及可能產毒潛勢，因此較前述光學方法藍綠菌總量的概念，更進一步可以判定毒素生成潛勢。

(二)快速分析技術評析

為提供藍綠菌毒素爆發生前較長的應變時間、以及對水庫不同位置掌握毒素發生

潛勢，除一般分析技術要求外，快速分析水庫毒素潛勢之技術，尚需具有分析時間短(例如可以在 3-4 小時內獲知結果)、短時間內可分析樣品數多(可以一次分析水庫中多處不同位置)、儀器可攜性高(可以靠近水庫、減少運送時間)等特性。表 1 彙整並比較常用藻類毒素及毒藻監測技術，並說明各分析方法使用之儀器、分析目標、優缺點，以及其適用於現場之狀況。

如果將快速分析方法之特性納入考慮，則毒性分析方法牽涉到實驗動物之搬運，以液相層析儀為基礎之毒素分析方法因

儀器不適合移動且分析時間長，因此該兩類方法較適合於毒性與毒素確認，而無法歸類為快速分析技術。顯微鏡分析藍綠菌，雖可定性及定量可能產毒藍綠菌，但是人員需經長期訓練，且無法於短時間內分析大量樣品，要做為快速監測技術亦有其困難度。因此，在表 1 中所介紹到的技術中，可能適用在水庫毒素潛勢之快速分析技術包括有分析生成潛勢之流式細胞照相儀、活體螢光分析法、分子生物法，以及分析毒素之 ELISA 法四種。後續分別討論此四種技術之應用現況。

表 1 水中常見藻類毒素及毒藻監測技術說明

技術種類	儀器/方法	分析目標	優缺點	技術歸類
毒性分析	動物或生物實驗	毒性	優：可確定水樣毒性；缺：人員需經長期訓練，分析時間長	實驗室
毒素分析/化學分析	液相層析(串聯)質譜儀 (LC/MS 或 LC/MS/MS 法)	幾乎所有藻類毒素	優：可分析所有已知毒素；缺：需攜回實驗室分析，現有技術需 1-2 日以上，才可以完成檢驗，設備費用貴。	實驗室
毒素分析/免疫學	酵素結合吸附免疫分析法(ELISA)	微囊藻毒素/結球藻毒素、柱孢藻毒素	優：分析快速，設備成本低；缺：耗材成本高，每類毒素需使用不同套件。	實驗室/移至現場可能
毒素生成潛勢分析/光學分析	顯微鏡(Standard Method 10200F)	產毒藍綠菌	優：可定性及定量可能產毒藍綠菌；缺：人員需經長期訓練，分析時間長，無法確認毒藻是否產毒	實驗室
	流式細胞照相儀	所有 1->100 μ m 顆粒(含藍綠菌)	優：可定性及定量可能產毒藍綠菌，分析快速；缺：無法確認毒藻是否產毒，尙未經大量測試	實驗室/現場近即時分析
	活體螢光分析 (IVF)	藻藍素、葉綠素	優：商品化技術，可即時定量藍綠菌之濃度；缺：實場測試剛開始，受水庫水質影響，須經測試及驗證	現地即時分析
毒素生成潛勢分析/分子生物	即時定量聚合酶連鎖反應儀(qPCR)	藍綠菌基因、毒藻產毒基因	優：可定量分析產毒藻類、偵測極限低；缺：須攜回實驗室作，現有技術可於 2 日內完成	實驗室/現地分析

三、快速分析技術發展與應用現況

(一) 酵素免疫吸附法

ELISA 係應用抗原與抗體結合之專一性，在毒素分析上，常將已知量之抗體固定在固體塑膠測試孔盤表面上，若樣品中含有毒素(類似於抗原)，則會與測試孔盤表面之抗體結合，其結合之位置數與毒素濃度成比例，其後再以連結酵素的競爭抗原洗過測試孔盤，使剩餘未結合抗體與競爭抗原再結合，進而顯色，然後再由顏色強弱判定與競爭抗體結合之位置數，回推水中毒素濃度。

ELISA 則具有分析速度快的優勢，通常水樣僅需檢易前處理，也有許多公司發展出快速偵測套件，可以在 1-2 小時內，分析微囊藻毒素及結球藻毒素共有的 ADDA 胺基酸 (Biosense Laboratories, Norway; Abraxis, US)，可用於定量所有微囊藻毒素及結球藻毒素，另外柱孢藻毒素及貝類毒素亦已經有廠商開發出，其偵測極限均在 $0.1 \mu\text{g/L}$ 附近，若以各種毒素在世界過國建議之標準值 ($1 \mu\text{g/L}$ 附近)，該偵測極限是可以接受的，若考量預警功能，則約有十倍數值的預警時間。表 2 即說明 LC/MS 及 ELISA 兩種常用分析藻類毒素之方法及其優缺點，ELISA 的優點是其成本較低、分析時間短、且儀器設備移動性較佳。

ELISA 分析藻類毒素已經廣為國際使用 (Carmichael, 2001)，國內環檢所(洪文宗等, 2008)、台灣水公司(李貞慧等, 2009)均應用此技術，定期監測水庫及清水中微囊藻毒素濃度，已經有數年的相關應用經驗。

(二) 流式細胞照相儀

光學分析方法中流式細胞照相儀為近

幾年開發出之方法 (Fluid Imaging Technologies, US)，主要單元包括高速粒狀物流動單元以及高速照相機，在每分鐘通過 1-10 mL 樣品中，可針對單一顆粒分析其特性(如粒徑、長、寬、面積、色素螢光等 23 個參數)以及高速照相，照相最大放大倍數為兩百倍，速率達每分鐘 10,000 顆粒，因此可以高速分析藻類樣。美國麻州水資源局 (Reilley-Matthews, 2007)曾使用水樣測試該設備，作為監測產臭藻類監測的方法，結果發現原先需要數日的結果可以縮短到數分鐘即可解析資料。該設備原先係應用於海洋監測，目前在飲用水水庫測試案例仍少，後續應有更多測試資料，以驗證其有效性。

(三) 活體螢光分析法

活體螢光分析方法(in-vivo fluorometry, IVF)已經發展很久(Watras and Baker, 1988; Lee et al., 1994)，早期是應用葉綠素，再慢慢發展到應用藻藍素，近幾年來則除螢光光度計(fluorometry)外，也結合現地多功能水質分析儀，除分析傳統水質項目外，可同步推估水中藻類及藍綠菌濃度。

本研究使用現地多參數水質監測系統 (Model 6600V2, YSI, US)，初步測試 IVF 應用於水庫監測之可行性。該水質分析儀主要利用多重電極與光學原理，針對多項水質物理參數進行同時量測，並可即時回傳與收集相關數據資料，除傳統水質項目外，並可以分析葉綠素 a 及藻藍素。研究中共分成實驗室測試及現場測試。

1. 實驗室測試

研究中首先取成功大學光復校區內之成功湖水進行實驗。由於成功湖優養化嚴

重，湖水內藍綠菌數量豐富，因此相當適合做為環境水樣以進行測試。研究中先將成功湖水進行過濾(0.45 μ m, Whatman, US)，將菌體及懸浮固體去除後，以此過濾後之水樣添加實驗室培養之銅綠微囊藻(*M. aeruginosa*)後進行儀器之校正。本校正過程分成低菌數與高菌數進行兩段校正，低菌數區段使用 0、500 及 5,000 cells/mL 進行校正；高菌數則為 0、50,000 及 100,000 cells/mL 進行校正。

儀器經校正後，即進行成功湖環境水樣檢測，樣品分成成功湖湖水(未稀釋)、湖水稀釋 5 倍、稀釋 10 倍以及稀釋 50 倍。為提高準確度，其中所使用之稀釋水與實驗室校正採用相同，均為經過過濾後之成功湖湖水。檢測結果如表 3 所示。表中可以看出在未稀釋的成功湖水中所測得的儀器讀值為 104,362 cells/mL，而以顯微鏡鏡檢所得菌數為 92,500 cells/mL，相對誤差約為 12.8%，以環境樣品而言，其誤差應可以接受。然而，隨著稀釋倍數的放大(菌數的減少)，顯微鏡鏡檢與水質分析儀所測得之讀值相對誤差亦相對放大，於稀釋 50 倍後，相對誤差可達到 210%，此時真實菌數約為 1,510

cells/mL、但是儀器所讀出的菌數約為 4,700 cells/mL。

2.環境樣品測試

環境樣品測試包括三個不同條件：金門三水庫高菌數下之測試、本島四水庫低菌數下測試、以及具藻粒高濃度下之測試。

圖 1 為測試金門三水庫(太湖、榮湖及紅山)現場水樣，將實驗室顯微鏡鏡檢藍綠菌之分析所得數量，與水質分析儀所測得之值做比較，可以發現在金門地區菌數較高的情況下(20,000 - 100,000 cells/mL)，其準確性相當高，各水庫水相對誤差均小於 9%，且其斜率接近 1、截距也相對低，顯示在此菌數量情況下，IVF 方法可以精確地計算出藍綠菌的數量。

較低菌數下之測試係取本島仁義潭、寶山水庫、石門及南化水庫樣品，在本研究採樣期間(2009 年 7-10 月間)，其藍綠菌數相對的較離島水庫低很多(均在 6,000 cells/mL 以下)。由分析數據看起來 IVF 分析結果與顯微鏡分析結果差異均超過 200-300%，顯見在低菌數下應用上需要進一步檢視。

表 2. 兩種常見毒素分析方法之優缺點

分析方法	適用毒素	偵測極限 (ng/L)	設備成本 (萬)	分析成本 (元/樣品)	分析時間 (小時)
液相層析質譜儀 (LC/MS or MS/MS)	所有常見毒素	~ 1-10	~ 800-1,000	>3,000	前處理: >4 分析 ~ 2
酵素免疫吸附法 (ELISA)	微囊藻毒素 柱孢藻毒素 結球藻毒素 貝類毒素	~ 100	< 100	~ 300-500	分析 1-2

表 3 活體螢光分析法與顯微鏡分析實驗室測試結果

成功湖水 稀釋倍數	顯微鏡分析		水質分析儀 (活體螢光分析法) (cells/mL)	相對誤差 (%)
	藍綠菌屬	菌數 (cells/mL)		
未稀釋	微囊藻	25000	92,500	12.8
	隱球藻	5000		
	顫藻	32500		
	柱孢藻	30000		
稀釋 5 倍	微囊藻	7500	19,750	35.6
	隱球藻	1250		
	顫藻	5500		
	柱孢藻	5500		
稀釋 10 倍	微囊藻	2000	7,860	110
	隱球藻	660		
	顫藻	2750		
	柱孢藻	2450		
稀釋 50 倍	微囊藻	450	1,510	210
	隱球藻	60		
	顫藻	520		
	柱孢藻	480		

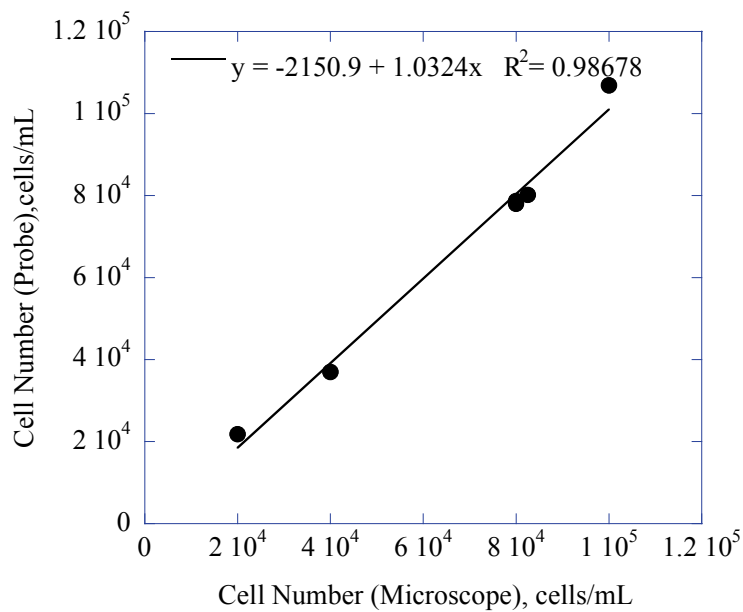


圖 1 顯微鏡鏡檢與現地水質分析儀藍綠菌數值之相關性-金門水庫

除低菌數外，本研究亦利用台南市嘉南大排藻華發生期間進行採樣(2009 年 10 月)，該次水樣中含有肉眼可見的微囊藻團，可作為判斷藻團影響藻數量測之參考。本次鏡檢結果與水質分析儀讀值結果差異也超過數倍。造成此誤差可能包括兩部分：藻種之差異性及藻團之影響，該次實驗中水質分析儀校正方式為在實驗室中以去離子水以及實驗室培養之純種微囊藻進行校正，而嘉南大排包含的藻種則以柱孢藻、平裂藻以及顫藻為大宗，由於各種藍綠藻所產出的藻藍素未必相同，且其數量及樣品中所佔比例皆遠超過微囊藻，因此可能造成此樣誤差。此外，由於環境樣品中具有團囊性的藍綠藻樣品取得不易，亦可能是誤差來源。

3.綜合評析

綜合而言，本研究初步結果顯示 IVF 在藍綠菌數超過 20,000 cells/mL 的水樣，其誤差應可以低至 10-30%左右。在高濃度且有藻團粒情況下，亦會造成很大的誤差。雖然廠商資料顯示該儀器偵測極限為 200 cells/mL(應用微囊藻校正)，但會受到水色、葉綠素 a、濁度等之影響。截至目前為止，文獻中尚缺乏應用區間範圍驗證，雖然 Zamyadi et al. (2009)曾測試相同之水質儀，但其測試範圍濃度相當高(絕大多是位於數萬 cells/mL 以上)，且僅止於實驗室標準藻株結果，因此在環境水樣中藍綠菌濃度較低時、以及濃度較高有藻粒存在時，其適用性仍待深入驗證。

(四)分子生物技術

國內水庫產毒藍綠菌以微囊藻最為常見，因此本研究先鎖定產毒囊藻快速監測技術進行討論。微囊藻產毒基因定量方法已有

許多國內外文獻報導(林與曾, 2007; 顏宏愷, 2009; 洪文宗等, 2008; Davis et al., 2009)，因此對微囊藻產毒基因具專一性引子(primer)與探針(probe)已廣為人知。雖然即時定量聚合酶連鎖反應儀(real-time quantitative polymerase reactor, qPCR)可用來量化毒性微囊藻的產毒基因，但傳統的 qPCR 儀器多限於實驗室操作，因此監測時均是將樣品攜回實驗室進行分析，會因旅運時間而使結果無法快速獲得，目前僅極少數案例應用於現場進行立即快速的偵測(Rasmussen et al., 2008)。為了即時預測微囊藻產毒趨勢，本研究即擬發展發展現場監測技術。

本技術發展時，包括三個部份，即 PCR 條件測試、現地 DNA 萃取技術、以及現場水樣驗證。PCR 條件測試在於找出適用於現場之分析技術，證明現場 PCR 儀器可檢測出目標基因，並與實驗室常用儀器做比對。現地 DNA 萃取技術則因實驗室常用 DNA 萃取技術非常複雜與繁瑣，在現地儀器缺乏情況下，並不適用，因此此部分係為發展簡易地破壞細胞的前處理法，提供現場萃取 DNA。前兩項技術發展與測試成功後，再於現場進行水樣驗證，以確認技術可行性。

1.PCR 測試

研究首先測試兩種 qPCR 之差異性，包括 LightCycler®(Roche Diagnostics Ltd, US)及 Smart Cycler(Cepheid, Sunnyvale, CA, USA)，前者廣為應用於實驗室之中，後者則可現地執行 qPCR。在進行現地微囊藻產毒基因監測之前，首先將評估 Smart Cycler 與 Light Cycler 的差異性，判斷是否 Smart Cycler 的準確性足夠於現地的使用。

研究中首先探討微囊藻產毒基

因—McyB—搭配 SYBR green 於兩者儀器間結果的差異，因此以 McyB gene 的 $10^6\sim 10^2$ copy number 稀釋序列製作出兩項儀器之 McyB 檢量線。結果如圖 2 所示，濃度由高到低，Smart Cycler 的 Ct 值(螢光可偵測時之複製循環數)是 14~28，Light Cycler 是 12~34，在不同濃度間 Smart Cycler 與 LightCycler 分別呈現約 3 個與 4 個循環的遞增趨勢，在低濃度時 Smart Cycler 所需的循環數(Ct 值)較少，而高濃度時需要較大的循環數。雖然兩者儀器所顯示的結果有些許差異，反應效率也有些過高，但 Smart Cycler 各個槽間的誤差值皆小，仍可判定 Smart Cycler 足夠做為 Mcy B gene 現地 qPCR 的應用。此外，研究中亦發現，TaqMan probe method 亦可成功地運用在移動式 qPCR 儀器上。

2. DNA 萃取方法

DNA 萃取時以產毒銅綠微囊藻(*M. aeruginosa* PCC7820)純藻溶液進行測試，其稀釋序列 $1.3\times 10^7\sim 1.3\times 10^2$ cell/mL。研究中使用微波細胞破壞法、磁珠震盪破壞法、以及 FastDNA spin kit(Qbiogene, Melbourne, Australia)、與 Chemagic DNA Bacteria Kit(Chemagen, Baesweiler, Germany)兩種套件，等四種方法。

結果顯示 FastDNA spin kit 以物理方法破壞細胞，需耗時約 1 小時萃取樣本，需要搭配特殊的 FastPrep 震盪器以達到最佳萃取效率；Chemagic DNA Bacteria kit 以化學方法破壞細胞，耗時較 FastPrep 為短，過程中需水浴槽加熱，以增加萃取效率及速度；而微波細胞破壞法及磁珠震盪破壞法所需時間較短只需 1 到 2 分鐘即可完成，且結果相當良好，顯示兩種方法均可用於 DNA 萃取。

3. 環境樣品測試

本研究選定仁義潭、以及成功大學校內之成功湖等水庫作為試驗對象，檢驗結果如表 4 所示。水樣於實驗室並經過 LC/MS 分析毒素做同步的確認，以確保檢驗結果正確。其中在現場測試中，由現地採樣完畢後開始計算，本研究可以成功地在 2 個小時內獲得產毒基因定量結果，符合快速監測的時間要求。

從仁義潭及成功湖樣品中都有微囊藻毒基因的存在，且在仁義潭樣品添加約 10^7 cell/mL 的微囊藻液 $1\ \mu\text{l}$ (相當於 10^4 cell/mL 的微囊藻)、 $10\ \mu\text{l}$ (10^5 cell/mL)、及 $100\ \mu\text{l}$ (10^6 cell/mL) 和原水樣做比較，實際測試出的結果換算也非常接近添加後之數量，顯示分析之準確性。另外，因為此方法的偵測極限為 10^3 cell/mL，樣本中即使有微囊藻存在也可能發生檢驗不出的情況，因此將仁義潭採集之水樣濃縮 10 倍後，使其大於偵測極限，結果顯示分析濃度增為原先之 10 倍(參考表 4)，相同結果也在成功湖出現，樣品經濃縮 10 倍後即可以偵測到，顯示可以藉由過濾濃縮提升本方法之偵測極限。

仁義潭水樣中產毒基因測試結果顯示約為 1×10^3 cells/mL，該次採樣樣品經 LC/MS 測試，也發現有五種微囊藻毒濃度總合約為 100 ng/L 左右，若以國際自來水管制常用之銅綠微囊藻產當量計算(約為 $1\ \mu\text{g}/5000$ cells)，本次毒基因所獲得藻數最多可產生 200 ng/L 左右的微囊藻毒，與毒素分析結果相近，考量並非所有毒基因均會表現而產生毒素，此數值應屬合理，且顯示約有 50% 毒基因在此次採樣中表現出產毒現象。

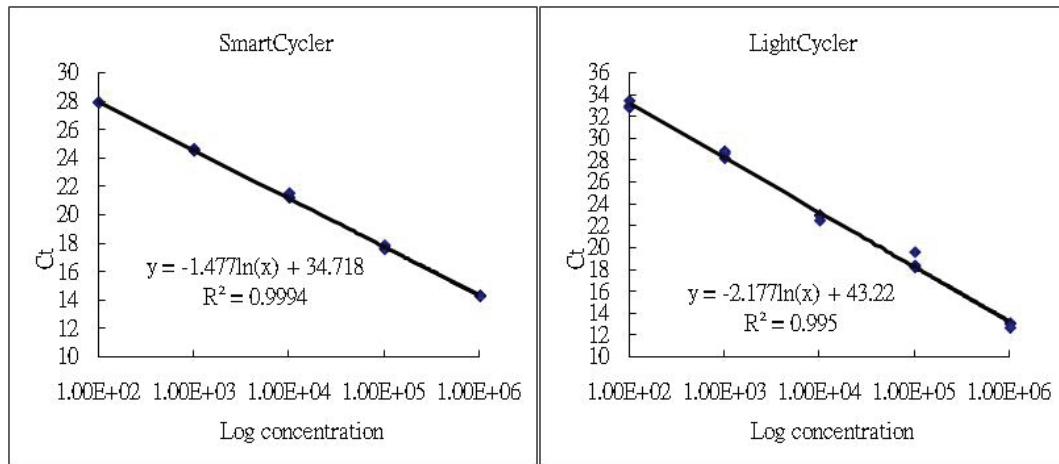


圖 2 McyB gene 搭配 SYBR green 於 Smart Cycler 與 Light Cycler 之檢量線(3 重複)

表 4 McyB gene 之 qPCR 實際運用於環境水樣測試

水庫	樣品	平均值(cells/mL)*	標準偏差* (cells/mL)
仁義潭	湖水	1X10 ³	1X10 ³
仁義潭	湖水濃縮 10 倍	2X10 ⁴	2X10 ⁴
仁義潭	湖水+1 μl (10 ⁴ cell/ml)	4X10 ⁴	1X10 ⁴
仁義潭	湖水+10 μl (10 ⁵ cell/ml)	3X10 ⁵	1X10 ⁵
仁義潭	湖水+100 μl (10 ⁶ cell/ml)	2X10 ⁶	2X10 ⁵
成功湖	湖水	ND**	ND**
成功湖	湖水濃縮 10 倍	4X10 ⁴	2X10 ⁴

註: *:二重複試驗之平均值及標準差

** : ND 低於偵測極限(1,300 cells / mL)

四、快速分析技術於水庫預警之使用

現地水質分析儀結合 IVF 分析，依目前資料顯示其適用於藍綠菌菌數 20,000 cells/mL 以上之水樣，較低濃度之水樣尚無法確認其適用性。依世界衛生組織建議，若假設全數微囊藻均會產生毒素，則水中達 5,000 cells/mL 時即為相當於世界衛生組織自來水微囊藻毒素建議限值(1 μg/L)，因此其能提供預警時間有限。但是，若對於已發生藻華或高菌數之水庫，該設備可以提供取水口位置不同深度菌數分佈，可以做為取水位置之選擇，以取得含菌數較低的原水。

流式細胞照相儀理論上應具有水庫藍綠菌監測應用潛力，其優點為分析快速，儀器可攜至現場。但因為目前在飲用水水庫測試案例仍少，無法判斷其能提供之預警時間及主要缺點。

ELISA 方法偵測極限可以達 0.1 μg/L，藍綠菌生長速率與季節及環境相關，若假設其生長之速率常數介於 0.1-0.4 d⁻¹ 間，相當於 1.73 至 6.93 天增加兩倍(Burch et al., 2003)，本研究以最保守數值(即最大生長速率計算)，保守估計成長至世界衛生組織自來水微囊藻毒素建議限值(1 μg/L)值約 6 天左右，因此約略可以 6 天的預警時間，該設備

也具有移動至現場之可行性。但是，面對不同的藻毒素，需要準備不同的套組。若能與顯微鏡、流式細胞照相儀、或是分子生物技術結合，先確認主要毒藻類別，再進行分析主要毒素，應可以更進一步節省成本。

此外，對於藻毒風險之發生亦可以配合產毒基因監測，可以快速鑒別藍綠菌族群是否具有產毒潛勢，進一步釐清產毒潛勢，此方法較分析毒素更快速。本研究應用 qPCR 分子生物技術，於水庫現場進行定量監測微囊藻毒素產毒基因之可行性，研究中證明所開發出之技術，可以在現場採完樣品後，2 小時內完成 10 個以上之定量樣品分析，確認水庫水中微囊藻毒基因的含量，其偵測極限約在 1,000 cells/mL 左右，初步濃縮結果顯示，更有機會將偵測極限降至 100 cells/mL 的濃度。若考慮全數產毒基因均表現(即均會產生毒素)，則水中達 5,000 cells/mL 時即為相當於世界衛生組織自來水微囊藻毒素建議限值($1 \mu\text{g/L}$)，則在此分子生物監控技術下，偵測極限在 1,000 cell/mL 時可以爭取到 4 天，若將偵測極限降至 100 cells/mL 時，則更可以爭取到 10 天的應變期或觀察期。相較於傳統目視巡視，待水中藻斑點出現(通常水中藻濃度已達 $1-5 \times 10^4$ cells/mL 微囊藻等級)，其敏感度高出數十倍以上，應變時間也多出一周，因此後續應具有相當推廣之潛力。此外，該技術並可以進一步推演至其他藻類，可以在相同時間下，同步測出多種常見毒素生成潛勢。

五、結論與建議

本研究評析常用之藻類毒性分析、毒素分析、以及毒素(生成)潛勢分析技術，發現

適用於現場快速監測毒素潛勢之技術包括現地水質分析儀結合 IVF、流式細胞照相儀、ELISA 及分子生物分析四種方法。研究中並探討、測試、或開發四種方法，發現現地水質分析儀結合 IVF 分析較適用於高濃度菌數水體下，ELISA 與分子生物法均可以提供 4 天以上之毒素潛勢預警時間，惟 ELISA 需對不同的藻毒素，需要準備不同的套組，分子生物法則具有同步測出多種常見毒素生成潛勢的能力。該四項技術各具優缺點，後續應持續進行研究，探討彼此間之互補性，使藻毒素潛勢預警更臻完善。

致謝

本研究蒙經濟部水利署(MOEAWRA0980290)計畫補助，特此致謝。研究執行中承成功大學生命科學系曾怡禎教授、經濟部水利署、環保署毒管處、台灣自來水公司、及台北自來水處提供意見，在此一併致謝。

參考文獻

1. Abraxis, US, <http://www.abraxiskits.com/>
2. Biosense Laboratories, Norway, <http://www.biosense.com/>
3. Carmichael W. W. (2001), Assessment of Blue-Green Algal Toxins in Raw and Finished Drinking Water, Project #256, AWWA Research Foundation.
4. Davis, T.W., Berry, D.L., Boyer, G.L., and Gobler, C.J. (2009) The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of Microcystis during cyanobacteria blooms, Harmful Algae, 8, 715-725.

5. Fluid Imaging Technologies:

<http://www.fluidimaging.com/benchtop-flowcam.aspx>

6. Grosse, Y., Baan, R., Straif, K., Secretan, B., El Ghissassi, F., and Coglianò, V. (2006) Carcinogenicity of nitrate, nitrite, and cyanobacterial peptide toxins, *Oncology*, 7, 628-629.

7. Haider, S., Naithani, V., Viswanathan, P.N., and Kakkar, P. (2003) Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern, *Chemosphere*, 52, 1-21.

8. Lee, T., Tsuzuki, M., Takeuchi, T., Yokoyama, K., Karube, I. (1994) In vivo fluorometric method for early detection of cyanobacterial waterblooms. *J. Appl. Phycol.*, 6, 489-495.

9. Lorenzen, C.J. (1966) A method for the continuous measurement of in-vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Research*, 13, 223-227.

10. Rasmussen, J.P., Barbez P.H., Burgoyne L.A., and Saint C.P. (2008) Rapid preparation of cyanobacterial DNA for real-time PCR analysis. *Letters in Applied Microbiology*, 46, 14-19.

11. Reilley-Matthews, B. (2007) Particle imaging and analysis system minimizes Taste and odor complains, *J. AWWA*, Nov., 50-54.

12. Watras, C.J., Baker, A.L. (1988) Detection of planktonic cyanobacteria by tandem in vivo fluorometry. *Hydrobiologia*, 169, 77-84.

13. Zamyadi, A., Prevost, M., Dorner, S., McQuad, N., Newcombe, G., Burch, M., Baker, P., Daly, D., and Mosist, T. (2009) Validation of on-line fluoroprobe for detection of cyanobacteria in source waters, 2009 AWWA Water Quality Conference, Oct. 15-19.

14. 李貞慧、吳美惠、張嬉麗、廖福全、黃瑞聰、吳美炷、林彥宏、許惠佳 (2009) 水公司水

庫原水及其淨水場原清水中微囊藻毒之調查研究，第五屆海峽兩岸水質安全技術與管理研討會，澳門，10月28-29日。

15. 林財富、曾怡禎(2007)，飲用水水源及水質中產毒藻種及藻類毒素之研究，第三年期末報告，行政院環境保護署。

16. 林財富、顏宏愷(2009) 我國飲用水水庫藍綠菌及毒素監測與應變難議，自來水會刊，28 (3)，35-49。

17. 洪文宗、翁英明、牟麗娥、黃壬瑰、李秋萍、劉素妙、潘復華、蕭美琪、趙春美、梁淑婷(2008) 螢光光度計應用在水庫環境連續監測探討，環保署環境檢驗所，中壢。

18. 顏宏愷 (2009)，Analysis of toxic cyanobacteria and cyanotoxins in Taiwan's reservoirs，國立成功大學環境工程系，博士論文。

作者簡介

林財富先生

現職：成功大學環境工程系教授兼系主任

專長：自來水藍綠菌與代謝物分析與控制、吸附技術

道中敦子小姐

現職：成功大學環境工程系研究助理教授

專長：分子生物技術、生物處理技術

張德威先生

現職：成功大學環境工程系博士生

專長：藍綠菌與代謝物控制與分析

邱宜亭小姐

現職：成功大學環境工程系博士生

專長：藻類技術、藍綠菌與代謝物控制技術

吳哲宏先生

現職：成功大學環境工程系助理教授

專長：分子生物技術

連續流式催化臭氧反應槽分解水相微量 2-MIB 效率之研究

文/黃文鑑、曾勇霖、賴俊熹、陳道安

摘要

本研究是利用二氧化鈦 (TiO_2) 觸媒催化臭氧，增加臭氧對水中臭味物質 2-methylisoborneol (2-MIB) 之氧化力，藉由設計連續流填充式反應槽 (Continuous Flow Packing-Reactor)，將人工配製原水(以地下水作為背景水樣)及實際採中、南部地區優養化原水，以連續流方式通入至槽內，藉此評估未來應用於實廠之可行性。首先 TiO_2 覆膜在填充載體的方式是利用電弧離子鍍 (Arc ion plating) 的方式，於真空狀態下將 TiO_2 沉積在填充式濾材拉西環 (Raschig ring) 表面形成 TiO_2 薄膜，接著將拉西環填充於本實驗設計之連續流式填充反應槽內，試驗水樣是取地下水及三種優養化水源進行連續流 O_3/TiO_2 反應。首先利用深井地下水添加入微量臭味物質 (2-MIB = 200 ng/L)、臭氧劑量為 8.80 mg/L 及不同 pH 值 (4.0、7.0、10) 條件下，進行 O_3 (填充未鍍 TiO_2 膜之拉西環) 及 O_3/TiO_2 (填充鍍 TiO_2 膜之拉西環) 連續流反應，發現，pH 值在 7.0 及 10 條件下， O_3/TiO_2 反應對於微量臭味物質 (2-MIB) 之分解效率較佳，分解速率幾乎較單獨 O_3 反應者快一至二倍。另 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中，臭氧消耗之情形，發現 O_3/TiO_2 試程所需臭氧耗量較單獨 O_3 反應低。再者，針對三種優養化原水中 2-MIB 有機物及葉綠素-a 在 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程之變動，顯示在低臭氧劑量下 O_3/TiO_2 對 2-MIB 去除率約高於單獨 O_3 者 15~20%，而在高臭氧劑量則差異不大，此結果顯示，在高臭氧劑量條件，即使 O_3 無 TiO_2

的催化作用，其在水中的濃度及氧化力對 2-MIB 即有相當能力的去除。另外， O_3 及 O_3/TiO_2 兩試程分別在三種原水的耗 O_3 量，顯示無論在高、低 O_3 劑量及三種不同原水條件下，兩試程耗臭氧量差異不大，此結果與前述地下水的反應結果不同，原因可能是優養化表面水水質較複雜，水中能與 O_3 或 $\text{OH}\cdot$ 自由基反應的物種較多所致。針對葉綠素-a 之破壞，以 O_3/TiO_2 反應較佳，表示 O_3 反應過程中，加入催化劑 TiO_2 能更有效的破壞藻體細胞，進而抑制藻類生長。但針對溶解性有機碳 (DOC) 變化，發現 O_3/TiO_2 反應過程釋出較高溶解性有機碳 (DOC)，推估可能是藻體細胞在 O_3/TiO_2 程序受到破壞程度較劇，導致胞內/胞外基質 (intra-/extra-cellular substrates) 釋出至水相。

關鍵詞：優養化、藻類、催化臭氧、二氧化鈦、2-MIB

一、前言

台灣地區雨量豐沛，但地勢陡峭雨水無法保存，民生用水需仰賴水庫，目前台灣水庫常因農業、畜牧業等污水排放，造成嚴重的水庫優養化現象。水庫優養化會導致藻類大量繁殖，藻類滋生過程可能會代謝臭味物質、藻毒素，甚至造成後續淨水處理的負擔^[1]。近年臭氧廣泛的應用於飲用水處理，臭氧於水處理過程中，主要利用臭氧分子(直接)及氫氧自由基(間接)，以氧化水中無機物質(如鐵、錳)、有機物質(天然有機物、微量臭味物質及人工合成之難分解有機物)及殺滅致病微生物^[2-3]。然而在操作過程可能因高濃

度臭氧劑量而衍生消毒副產物(例如溴酸鹽離子及醛、酮類有機物)及臭氧本身在水中的低溶解度與較短半衰期等考量，因此於臭氧添加劑量上則無法在高濃度條件下操作，若水中含有難分解或高濃度的有機污染物^[4]，以目前水廠的臭氧施加劑量及接觸反應時間，可能尚無法將此類有機物完全分解破壞或去除至要求的濃度目標。

在水處理程序為提高 O_3 的氧化力或降低操作劑量， O_3 氧化程序中可加入催化劑增加 O_3 解離出之自由基，其反應介質型態一般分成 O_3 之勻相催化(homogeneous catalytic ozonation) 及非勻相催化(heterogeneous catalytic ozonation)。勻相催化臭氧程序是藉由在水相添加可溶解性之金屬離子，例如 Fe(II)、Mn(II)、Ni(II)、Co(II)、Cd(II)、Cu(II)、Ag(I)、Cr(III)、Zn(II)等，這些金屬離子可增加 O_3 解離自由基速率，同時提高對污染物的氧化分解能力^[5]。在非勻相催化 O_3 (heterogeneous catalytic ozonation)系統，所使用的催化劑主要是金屬氧化物例如 MnO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 Al_2O_3 等，其中亦可將金屬離子覆膜在金屬氧化物介質(metal oxide supports)中，例如 Pt- Al_2O_3 、Fe(III)- Al_2O_3 、Cu- Al_2O_3 、Cu- TiO_2 、Ru- CeO_2 、V-O/ TiO_2 、V-O/silicagel 及 TiO_2/Al_2O_3 、 Fe_2O_3/Al_2O_3 等^[5]，根據國內、外文獻報導觸媒對 O_3 氧化各種有機物有相當助益，同時觸媒本身物化性質穩定，對處理水質不會有負面影響^[6]。

有鑑於此，本研究嘗試以非勻相催化臭氧程序(heterogeneous catalytic ozonation)，藉由在臭氧反應系統中添加填充介質拉西環，於拉西環表面鍍膜催化劑二氧化鈦

(TiO_2)，藉此提高臭氧生成高氧化力之自由基，試驗水樣是取優養化原水中常見的臭味物質 2-MIB，藉由實驗結果推估 O_3/TiO_2 程序對飲用水中藻類代謝物質之破壞分解能力，同時研判是否可提高臭氧分解有機物之反應速率及降低臭氧施加劑量。

二、實驗方法

(一)材料與設備

1.拉西環

本實驗於連續流反應槽所採用的填充介質為拉西環(Raschig ring)(ID: 1.0 cm, Surface area: 7.5 cm^2)，材料是以陶瓷為主，構造簡單、製造成本低且適用於高溫及腐蝕性高的系統，置入反應槽中，可有效增加氣液兩相接觸時間，表 1 為拉西環組成份，拉西環製造材料主要以 SiO_2 及 Al_2O_3 為主，本身亦有微量的 TiO_2 成份，圖 1 所示圖(a)為未鍍膜 TiO_2 拉西環及 EDS 分析之元素組成。圖(b)為鍍膜 TiO_2 拉西環及 EDS 分析之元素組成顯示在表面發現有 Ti 之元素存在。圖 2 為拉西環鍍膜前、後的 FE-SEM 圖，圖中顯見本實驗利用電弧離子鍍的方式(Arc ion plating)，在真空的狀態下將 TiO_2 沉積在拉西環表面，在電子顯微鏡下可見陶瓷環表面，形成薄膜。再者，本實驗亦利用 X-ray 繞射儀分析鍍膜前、後之晶相(圖 3)，發現在 TiO_2 鍍膜後，拉西環內、外側之 X-ray 光譜均有相當強度的銳鈦礦晶相波峰出現。

2.連續流填充式反應槽

連續流填充式反應槽是將表面鍍 TiO_2 的拉西環介質填充於槽體(ID: 7.0 cm, H: 40.0 cm)，同時將含 2-MIB 的人工原水(或水庫原水)及臭氧在控制各種氣/液比、臭氧劑量、

水力停留時間等條件下，進行對 2-MIB 的氧化反應。首先人工水樣及氣相臭氧的接觸是利用文氏管(ID：1.5 cm, H：9.0 cm)將臭氧溶入水中，再將混合之水樣以上流式導入反應槽體，流量控制則是根據實驗所需之水力停留時間而定，反應後之出流水再經一氣液分離槽後，取樣分析水中之 2-MIB、pH、液相臭氧濃度及各項水質參數，氣相殘留臭氧則是在氣相分離槽後，連接一氣相臭氧連續偵測器並再利用 KI 吸收瓶進行分析。圖 4 為本實驗連續流反應槽之操作流程圖。

表 1 拉西環元素組成份

拉西環(Raschig ring)組成份	
materials	%
SiO ₂	50.04
Al ₂ O ₃	45.71
TiO ₂	0.28
CaO	0.03
MgO	0.21
K ₂ O	0.18
Na ₂ O	2.41
Ig.LOS	1.14

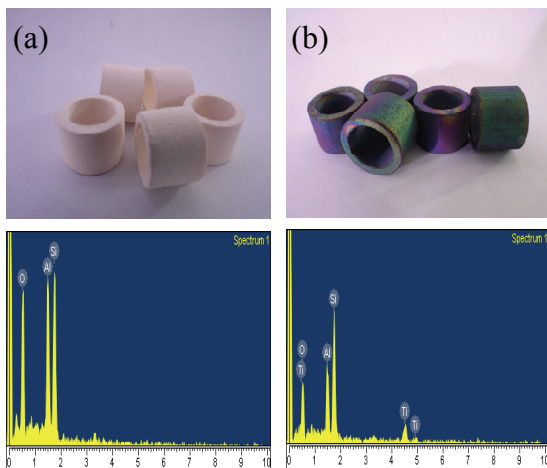


圖 1 拉西環鍍膜前、後及 EDS 分析之元素組成

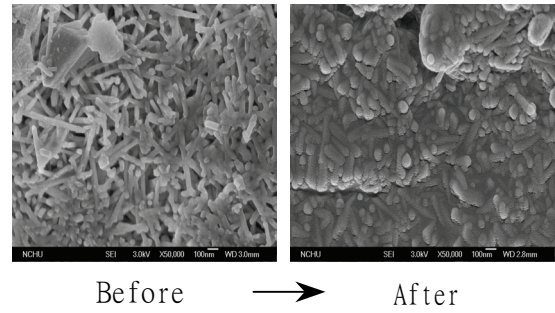


圖 2 拉西環鍍膜前、後之 FE-SEM 圖

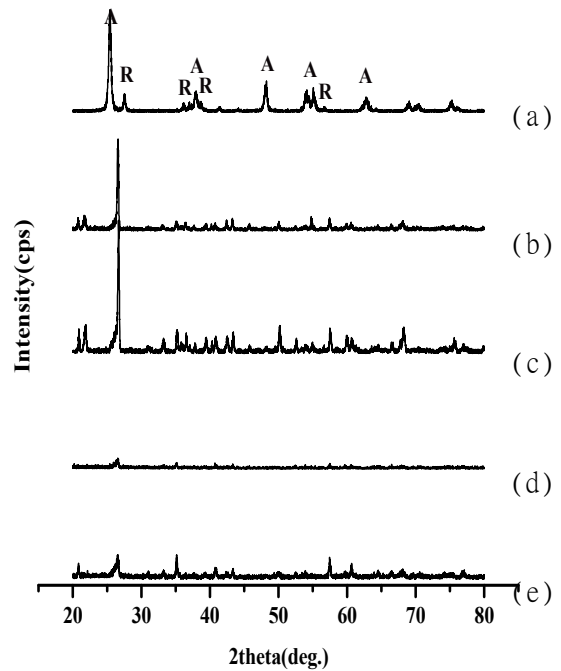


圖 3 鍍膜及未鍍膜 TiO₂ 拉西環之 SAXS 圖；A：anatase；R：rutile；(a) Degussa P25；(b) LC-TiO₂-Inside；(c) LC-TiO₂-Outside；(d) LC-Inside；(e) LC-Outside

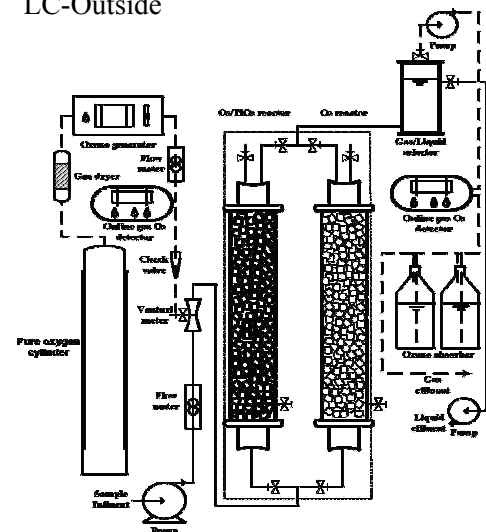


圖 4 連續流填充式反應槽操作流程圖

(二)分析方法

本實驗對於臭味物質 2-MIB 分析方法是使用吹氣捕捉裝置 (Purge&Trap 4560, OI-Analytical, USA) 搭配氣相層析質譜儀 (GC/MS 6890N/5973, Agilent Technologies), 分析過程以 Purge&Trap 作為樣品前處理裝置, 利用高純度氮氣(99.95%)做為氣提氣體 (purge gas), 使液態樣品中所含之揮發性有機物(2-MIB), 以氣提(stripping)方式將 2-MIB 吹出, 進入 trap 管柱中, 氣提時間 11 分鐘, 再利用捕留裝置(trap)將其吸附後, 利用快速升溫將 2-MIB 脫附, 送入氣相層析質譜儀 (GC/MS)分析。操作步驟是先將 40 mL 之水樣加入約 2g NaCl 增加水中離子強度, 使分析物於水中之溶解度降低, 接著取 25mL 水樣注入 Purge 管中, 將水相中之 2-MIB 吹捕出並注入至氣相層析質譜儀(GC/MS)進行分析, 2-MIB 波峰訊號於 GC 層析圖中大約出現於 8.63 分鐘。有關 Purge&Trap 及 GC/MS 之操作條件如表 2 及表 3 所示。

再者, 本實驗採樣 Purge&Trap 搭配 GC/MS 對 2-MIB 之偵測極限值(MDL)可達到 0.05 ng/L, 遠低於 SPME 搭配 GC/MS 之 0.39 ng/L, 圖 5 及圖 6 為 2-MIB 之標準層析圖及質譜圖。

表 2 Purge & Trap 分析條件

Purge temp/time	20°C for 11 min
Desorb temp/time	180°C for 3min
Bake temp/time	200°C for 15min
Sample volume	25mL
Sample temp	60°C
Carrier Gas	N ₂ (99.95%以上)
Gas pressure	5 psi
Gas flow	40 ± 3 mL/min
Run time	32 min

表 3 GC/MS 分析條件

Purge temp/time	20°C for 11 min
Desorb temp/time	180°C for 3min
Bake temp/time	200°C for 15min
Sample volume	25mL
Sample temp	60°C
Carrier Gas	N ₂ (99.95%以上)
Gas pressure	5 psi
Gas flow	40 ± 3 mL/min
Run time	32 min

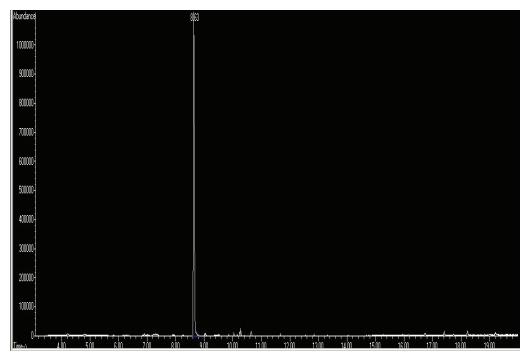


圖 5 2-MIB 之標準層析圖

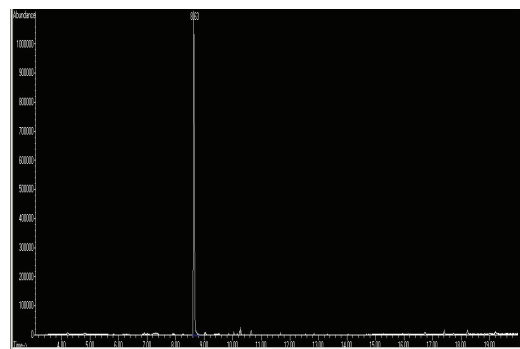


圖 6 2-MIB 之標準質譜圖

三、結果與討論

本實驗首先利用深井地下水添加入微量臭味物質(2-MIB: 200 ng/L)、臭氧劑量為 8.80 mg/L 及不同 pH 值(4.0、7.0、10)條件下, 進行 O₃(填充未鍍 TiO₂ 膜之拉西環)及 O₃/TiO₂(填充鍍 TiO₂ 膜之拉西環)連續流反應。圖 7 發現, pH 值在 7.0 及 10 條件下,



O_3/TiO_2 反應對於微量臭味物質(2-MIB)之分解效率較佳，分解效率幾乎較單獨 O_3 反應者快一至二倍。圖 8 為臭氧劑量 8.80 mg/L、不同 pH 值(4.0、7.0、10)條件下 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中，臭氧消耗之情形，發現 O_3/TiO_2 試程所需臭氧耗量較單獨 O_3 反應低。另圖 9 為臭氧劑量 8.80 mg/L、不同 pH 值(4.0、7.0、10)條件下 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中，地下水中溶解性有機碳(DOC)變化情形，發現兩反應過程，溶解性有機碳(DOC)變化差異不大。圖 10 為臭氧劑量 8.80 mg/L、不同 pH 值(4.0、7.0、10)條件下 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中，地下水中鹼度(Alkalinity)變化情形，發現兩反應過程，鹼度(Alkalinity)均有大幅下降情形，推估可能深井地下水水質較單純，僅有機物及少量鐵、錳等還原性物質，因此水中鹼度(Alkalinity)較易與 O_3 反應。針對以上結果可初步研判實際原水添加 2-MIB 在 O_3 及 O_3/TiO_2 的反應仍以 O_3/TiO_2 有較高去除率，同時消耗量明顯較單獨 O_3 者低。

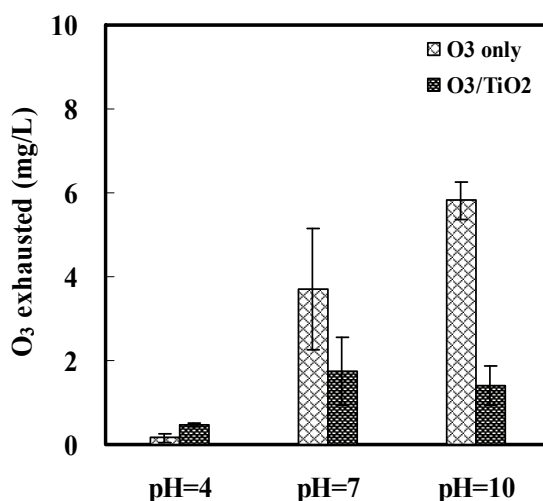


圖 8 連續式臭氧反應於不同 pH 條件下液相 O_3 濃度消耗情形

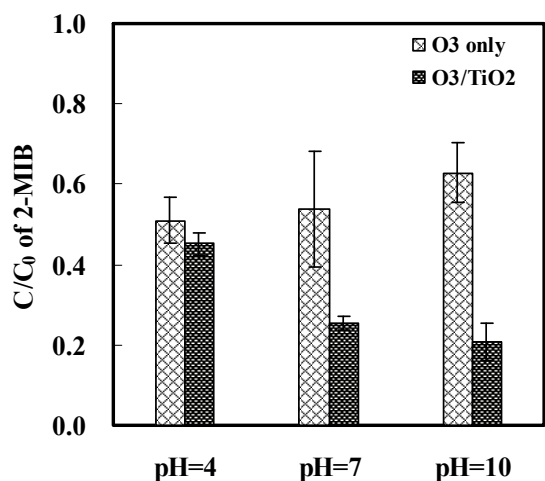


圖 7 連續式臭氧反應於不同 pH 條件下對 2-MIB 之分解效率

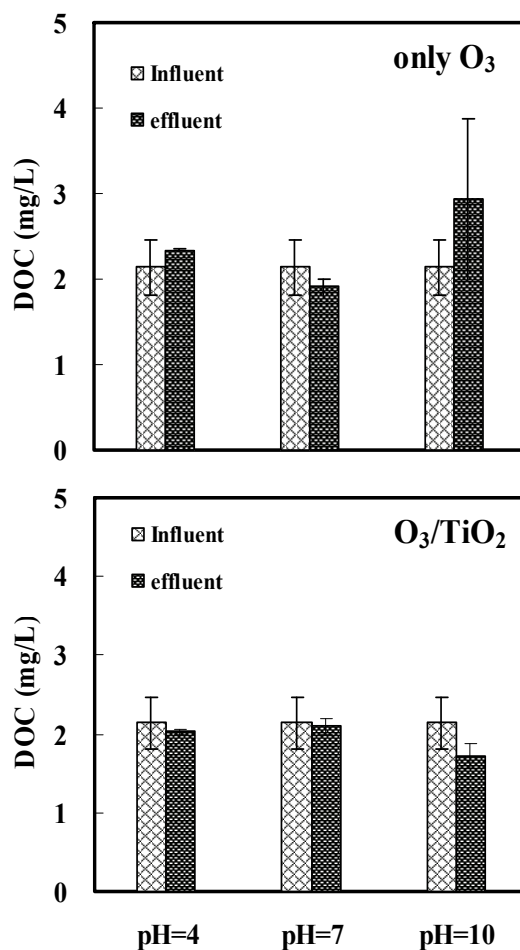


圖 9 連續式臭氧反應於不同 pH 條件下溶解性有機碳(DOC)變化情形

針對三種優養化原水鯉魚潭(Li-Yu Lak, 簡稱 LYL)、仁義潭(Reny-I Lake, 簡稱 RIL)及蘭潭(Lan Lake, 簡稱 LL)中 2-MIB、有機物及葉綠素-a 在 O_3/TiO_2 反應過程之變動, O_3/TiO_2 連續流反應對三種優養化原水的試驗是依據原水本身 2-MIB 含量, 並外添加適量 2-MIB, 使濃度達 200 ng/L, 臭氧施加劑量則分別控制在 4.0、13.5、20.0 mg/L。首先由圖 11 可發現在低 O_3 劑量下, 三種原水中 2-MIB 之分解率, 在單獨 O_3 程序最高約僅有 45% 去除率(LL), 其中 LYL 原水 2-MIB 幾乎未降低。提高臭氧劑量至 13.5 mg/L, 則發現 O_3 及 O_3/TiO_2 程序對三種原水 2-MIB 去除率均有大幅提升, 其中 RIL 及 LL 原水在 O_3/TiO_2 試程, 2-MIB 可達 90% 以上去除效果。另將 O_3 劑量在提升至 20.0 mg/L, 則發現無論是 O_3 或 O_3/TiO_2 對三種原水 2-MIB 之分解效率均未有顯著增加。

再者, 比較 O_3 及 O_3/TiO_2 兩試程對原水 2-MIB 之分解效率(圖 12), 發現在低臭氧劑量下 O_3/TiO_2 對 2-MIB

去除率約高於單獨 O_3 者 15~20%, 而在高臭氧劑量則差異不大, 此結果顯示, 在高臭氧劑量條件, 即使 O_3 無 TiO_2 的催化作用, 其在水中的濃度及氧化力對 2-MIB 即有相當能力的去除。另值得注意的是三種原水之 pH 值以 LYL 原水最高(pH=9.3), 且鹼度亦是 LYL 最低(20.19 mg/L as $CaCO_3$), 一般而言在水相 O_3 反應過程, 高 pH 值可產生較多 $OH\cdot$ 自由基, 低鹼度原水較不易消耗自由基(鹼度為自由基掠奪者(scavengers)), 因此理論上 O_3 在 LYL 原水應有較高氧化力, 亦即對 2-MIB 有較高分解效率, 本實驗結果在低 O_3 劑量下恰有相反結果, 此現象是否與原水的其他水質因子有關, 例如有機物濃度、藻種

及數量等參數, 仍需進一步探討。

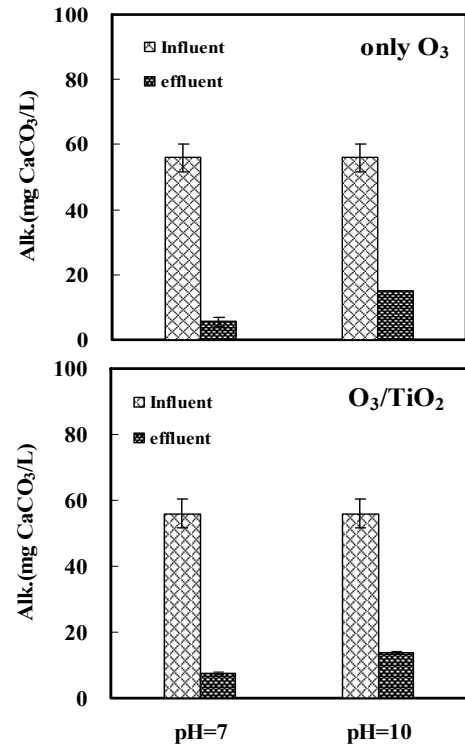


圖 10 連續式臭氧反應於不同 pH 條件下鹼度 (Alkalinity) 變化情形

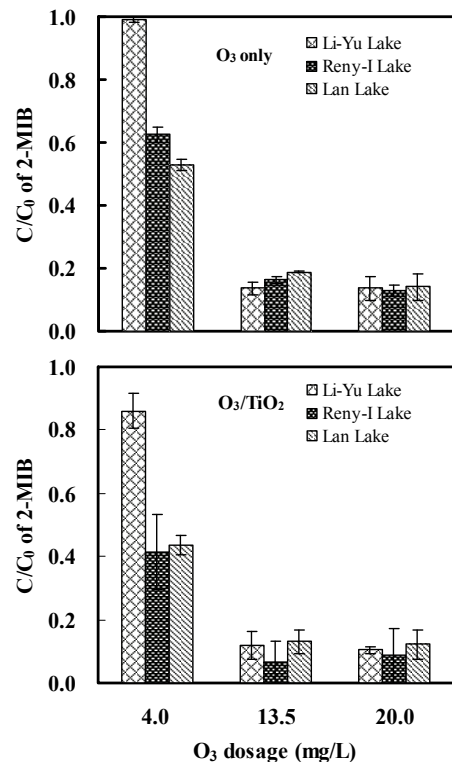


圖 11 原水中 2-MIB 之去除率比較

圖 13 為比較三種原水進行連續流式 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中， O_3 消耗情形，發現於低臭氧劑量下，LYL 原水耗臭氧量最高，但在臭氧劑量提高至 13.5 mg/L 及 20.0 mg/L 時，LYL 原水反而是 O_3 消耗量較低者，推測原因可能與三種原水水質有關，LYL 原水在低 O_3 劑量下有較高 O_3 耗量，RIL 及 LL 原水則在高臭氧劑量下，消耗較高臭氧量，就原水水質來看，LYL 有較低鹼度，但具有較高 DOC 及葉綠素-a 濃度，RIL 及 LL 原水則呈相反趨勢(高鹼度、低 DOC 及葉綠素-a 濃度)，研判水中之 O_3 可能先與有機物或葉綠素反應，因此添加低 O_3 劑量，LYL 原水消耗較多的 O_3 量，而在高 O_3 劑量下，水相 O_3 除可氧化有機物及葉綠素外，仍有足夠的 O_3 解離成自由基並繼續與鹼度反應，造成具有高鹼度的 RIL 及 LL 原水在整體 O_3 反應過程可消耗較高 O_3 量。

另外比較 O_3 及 O_3/TiO_2 兩試程分別在三種原水的耗 O_3 量，圖 14 顯示無論在高、低 O_3 劑量及三種不同原水條件下，兩試程耗臭氧量差異不大，此結果與前述地下水的反應結果不同，原因可能是優養化表面水水質較複雜，水中能與 O_3 或 $OH\cdot$ 自由基反應的物種較多所致。

圖 15 及圖 16 分別為比較連續式 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中，pH 值及鹼度變化，發現經過連續式 O_3 及 O_3/TiO_2 反應後，pH 值及鹼度變化甚小。

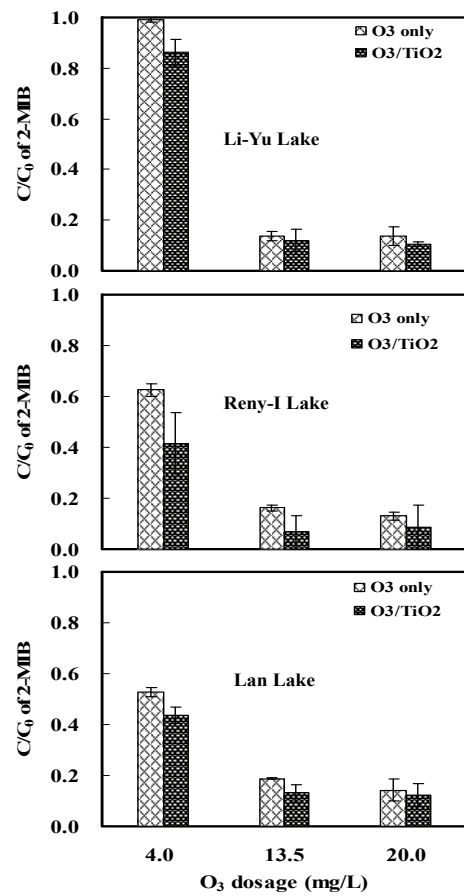


圖 12 連續式 O_3 及 O_3/TiO_2 反應對於原水中 2-MIB 之分解效率比較

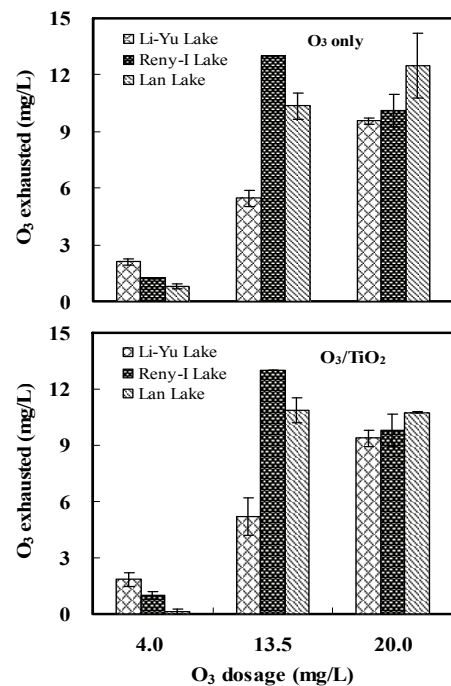


圖 13 原水於反應過程中 O_3 消耗情形

圖 17 為連續式 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中，葉綠素-a 變化情形，可見對於連續式 O_3 及 O_3/TiO_2 反應後，葉綠素-a 之破壞以 O_3/TiO_2 反應較佳，表示 O_3 反應過程中，加入催化劑 (TiO_2) 亦可更有效的破壞藻體細胞，進而抑制藻類生長。圖 18 為連續式 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中，溶解性有機碳變化情形，由兩者反應發現以 O_3/TiO_2 反應過程釋出較高溶解性有機碳，推估是藻體細胞受到破壞，釋出胞內/胞外基質 (intra-/extra-cellular substrates) 所造成。

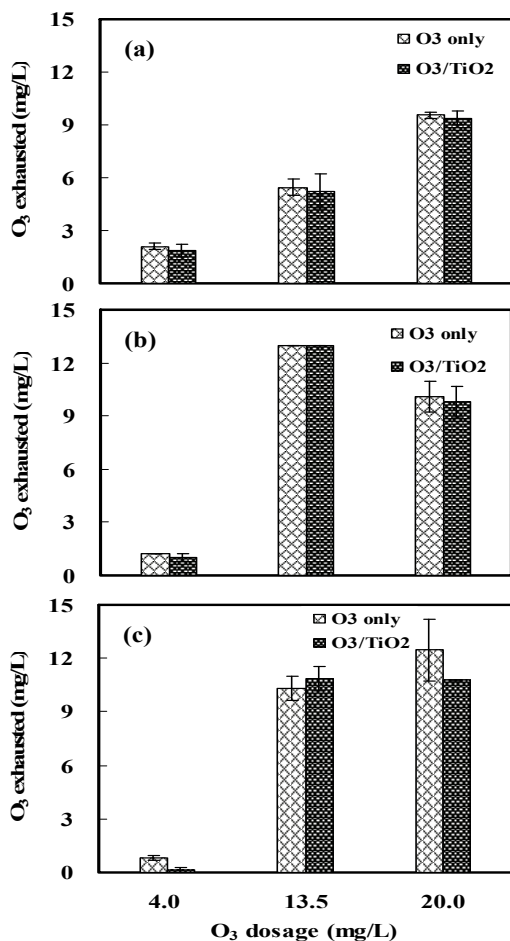


圖 14 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中， O_3 消耗之情形(a)LYL, (b)RIL, (c)LL

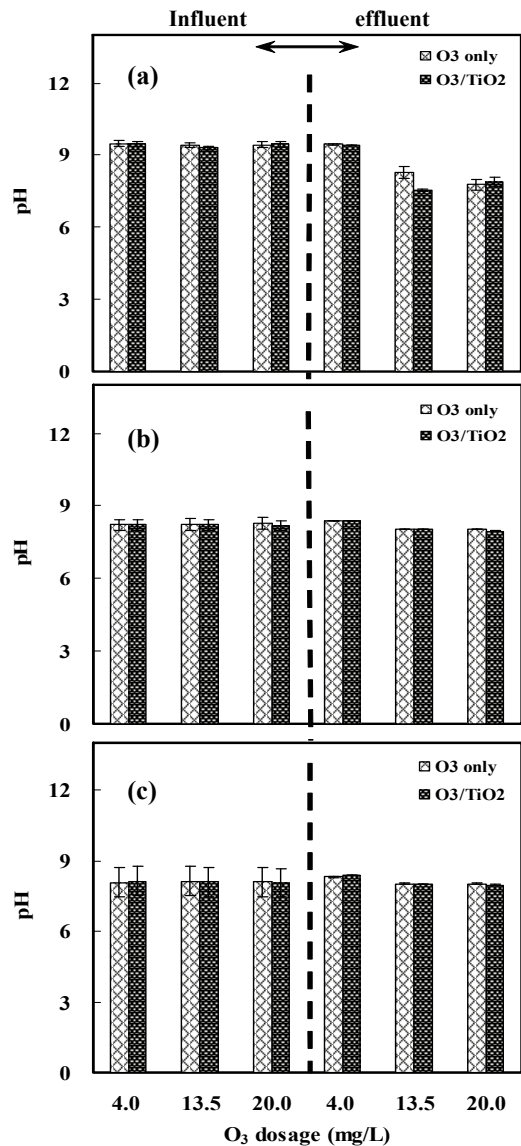


圖 15 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中 pH 值之變化情形(a)LYL, (b)RIL, (c)LL

再者，為進一步探討優養化水體中藻類在 O_3 或 O_3/TiO_2 試程被破壞情形，本實驗以藻細胞內普遍存在的鉀離子 (K^+) 為指標，觀察原水在 O_3 反應前後 K^+ 的變化，圖 19 為連續式 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中，原水及反應後出流水中 K^+ 離子變化情形，顯示大致以單獨 O_3 反應過程中，藻體 K^+ 離子釋出較高。再者，本實驗利用電子顯微鏡 (FE-SEM)

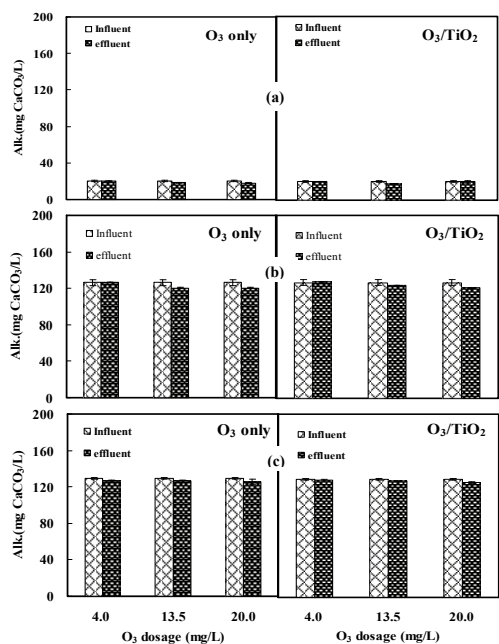


圖 16 O₃ 及 O₃/TiO₂ 反應過程中鹼度之變化情形(a)LYL, (b)RIL, (c)LL

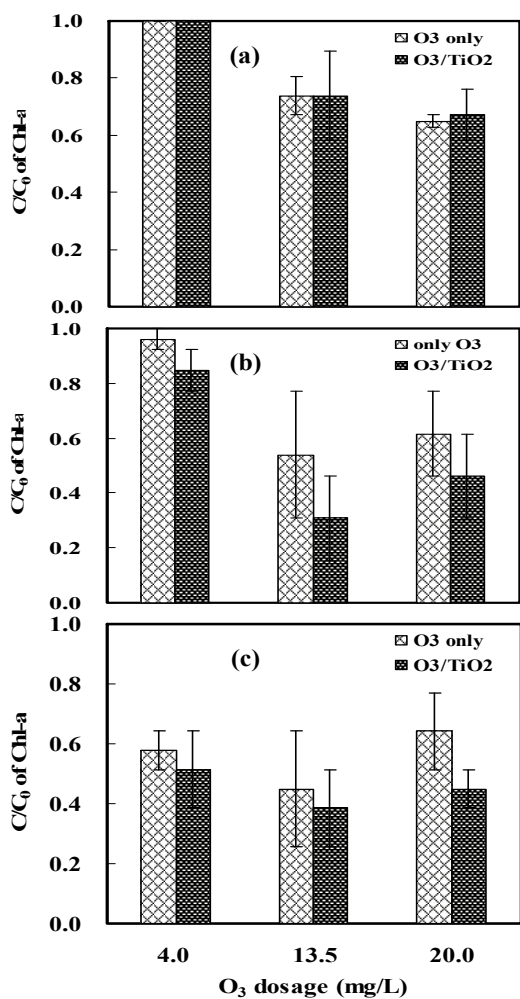


圖 17 O₃ 及 O₃/TiO₂ 反應過程中葉 LL

觀察兩試程對三種原水中藻體的破壞情形 (圖 20~圖 22)，發現 O₃ 或 O₃/TiO₂ 確實可將藻細胞破壞裂解，但由 FE-SEM 圖中無法判斷何者試程對藻體裂解較劇。綜整的 K⁺ 釋出及藻體 FE-SEM 圖，初步結果表示單獨 O₃ 反應可能對藻細胞具有較高氧化力，而在含 TiO₂ 的反應條件下，藻細胞反較不易被破壞，此現象配合前述結果；O₃/TiO₂ 可解離出較高 OH· 自由基，推測水相中臭氧破壞藻體可能以分子態 O₃ 為主。

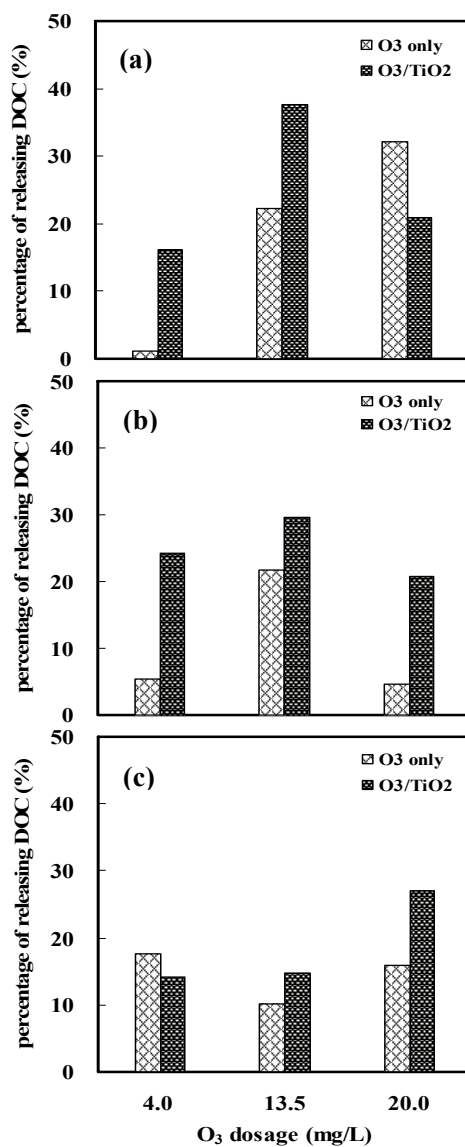


圖 18 O₃ 及 O₃/TiO₂ 反應過程中 DOC 變化情形 (a)LYL, (b)RIL, (c)LL

針對 O_3 及 O_3/TiO_2 試程， O_3 可能與原水中存在之溴離子(Br^-)反應生成致癌性的溴酸鹽(BrO_3^-)，本實驗亦分別針對兩試程反應後之出流水，分析 BrO_3^- 濃度，圖 23 顯在三種原水中(Br^- 濃度=9.69~20.32 $\mu g/L$)，兩試程均發現有 BrO_3^- 的生成，尤其由在高 O_3 劑量條件，此結果表示在 O_3 或 O_3/TiO_2 反應過程，應注意原水水質(包括 Br^- 、pH 等)，控制 O_3 操作參數。

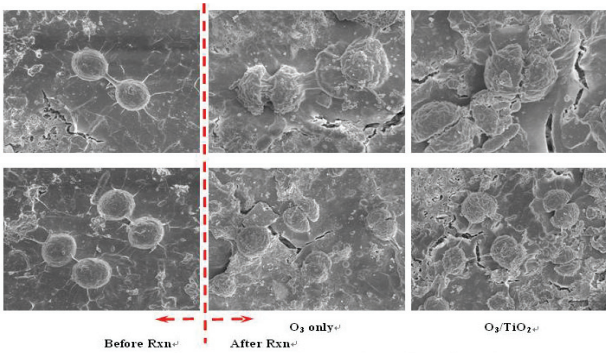


圖 20 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程前、後 LYL 藻體細胞變化情形

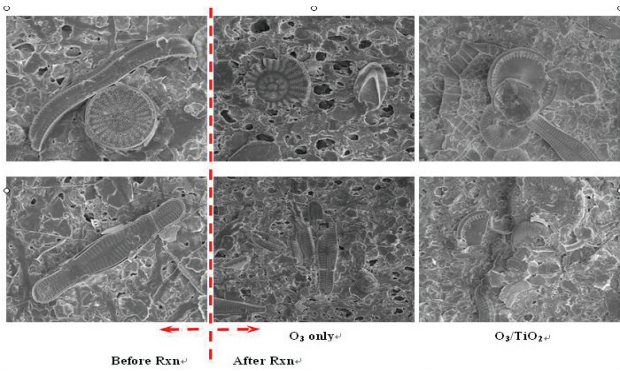


圖 21 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程前、後 RIL 藻體細胞變化情形

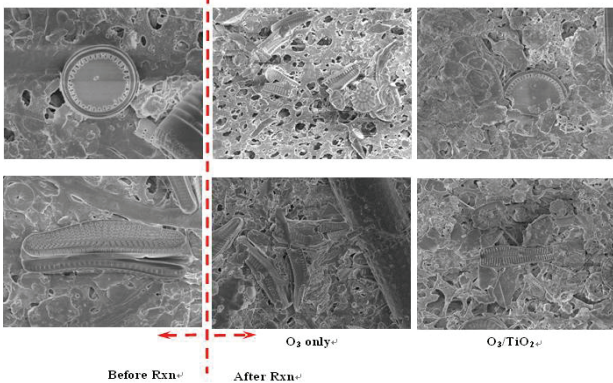


圖 22 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程前、後 LL 藻體細胞變化情形

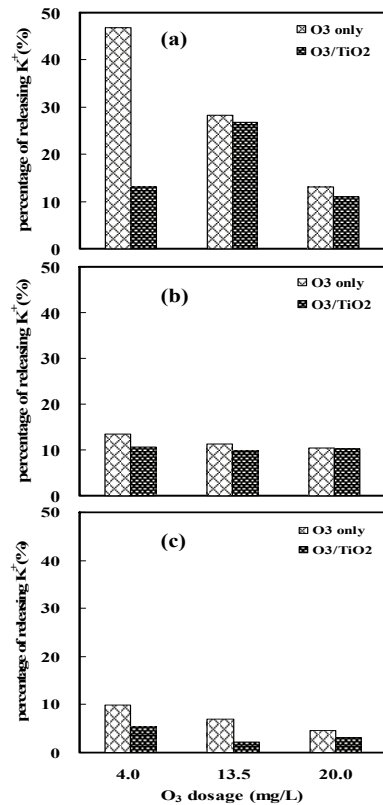


圖 19 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中 K^+ 離子變化情形(a)LYL, (b)RIL, (c)LL

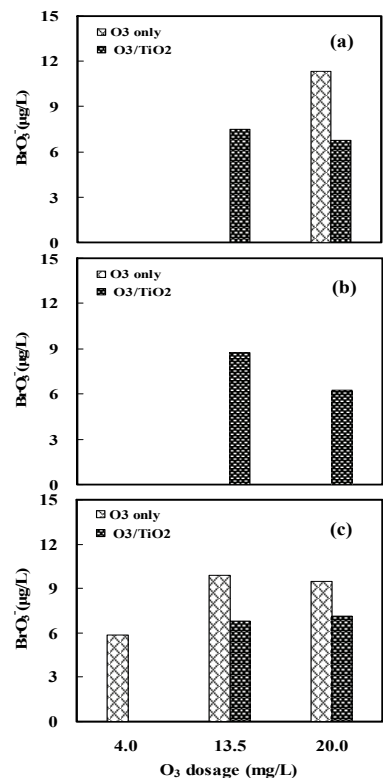


圖 23 O_3 及 O_3/TiO_2 反應過程中 BrO_3^- 變化情形

四、結論與建議

連續流催化臭氧反應系統以地下水添加 2-MIB 之人工原水，在 O_3 及 O_3/TiO_2 反應結果，顯示 O_3/TiO_2 對 2-MIB 之分解效率可大幅提高，尤其是在 pH 高於 7 的條件下。再者，比較兩程序之 O_3 消耗量，顯示 O_3/TiO_2 之耗臭氧量較低，可見 O_3/TiO_2 程序所需之臭氧量較單獨臭氧者低。

連續流臭氧反應系統應用於氧化優養化原水中之 2-MIB 及藻類，發現三種試驗原水均顯示 O_3/TiO_2 對 2-MIB 及藻體之葉綠素-a 有較佳之破壞分解效率，但針對水中溶解性有機碳(DOC)的變化，則顯示 O_3/TiO_2 程序所釋出之 DOC 較單獨 O_3 者高，此現象研判是 O_3/TiO_2 對藻細胞具有較高氧化力，導致細胞釋出之有機質較多所致。此部份在後續研究中對 O_3/TiO_2 破壞藻細胞的機制，仍值得做進一步探討。

本研究目前已完成連續流之 O_3/TiO_2 催化反應系統，對原水的實驗結果有良好成效，建議未來可設計模型廠規模之反應槽，於現場直接進行試驗。

參考文獻

1. Butterworth, R., "Review of Documents Investigating Taste and Odor Abatement Option: City of Chicago Department of Water", In AWWARF Taste and Odor Workshop, July 23-24, Chicago, (1998).
2. Morris, J. C., "Aspects of the Quantitative Assessment of Germicidal Efficiency," in Chapter 1 J. D. Johnson(Ed.), Water and Wastewater, Ann Arbor, MI, (1975).
3. Langlais, B., Reckhow, D.A. and Brink (editors), D.R., Ozone in Drinking Water Treatment:

Application and Engineering, AWWARF and Lewis Publishers, Boca Raton, FL, (1991).

4. Umphries, M.D., "The Effects of Pre-ozonation on the Formation of Trihalomethanes." Ozonews. 6, (1979).
5. Legube, B. and Karpel Vel Leitner, N., "Catalytic Ozonation: a Promising Advanced Oxidation Technology for Water Treatment", Catalysis Today, Vol. 53, pp. 61-72, (1999).
6. USEPA., Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual, Office of Water, Washington, DC, (1999).

作者簡介

黃文鑑先生

現職：弘光科技大學環境與安全衛生工程系(所)教授

專長：自來水處理技術、優養化水源評估及水質分析

曾勇霖先生

現職：瑩諮科技有限公司

專長：自來水處理技術、臭氧操作技術

賴俊熹先生

現職：國立成功大學環境工程研究所博士生

專長：自來水處理技術、水質分析

陳道安先生

現職：弘光科技大學環境工程研究所碩士生

專長：自來水處理技術、水質分析

出席「WATEC Israel 2009 會展」及參訪見聞

文/蕭宏民、周國鼎

「WATEC Israel 2009」(以色列 2009 水科技展)於 2009 年 11 月 17 日至 11 月 19 日在以色列第一商業大城台拉維夫市(Tel Aviv)召開，經濟部及環境保護署應以色列政府之邀請，由環境保護署署長沈世宏博士率隊出席，並順道參訪該國在水科技、環境保護及綠色能源科技之成功範例。參訪團員包括環境保護署、經濟部水利署、中國鋼鐵公司及台灣自來水公司等代表共 8 人(團員合照見圖 1)。



圖 1 團員與太陽能業者合影

此外，以色列政府在 2009 年 8 月之莫拉克颱風期間捐贈我國價值超過新台幣 100 萬元之淨水器材，以提供災民乾淨飲用水。為表達感謝之意，台灣自來水公司代表於拜會以國工貿部部長 Binyamin Ben-Eliezer 先生時，特別致贈感謝狀。

一、以色列水科技發展

雖然地球表面有 70%的面積由水體覆蓋，不過其中只有 0.74%之水量可供飲用，

而在 95%的開發中國家，大約有 70%的淡水被用於農業生產。據估計，全世界目前大約有 20 億人缺乏足量之用水或飲用不符合標準之自來水，加上近年全球人口持續增加以及氣候變遷之因素，這種缺水的現象在可預見之未來有加速惡化之趨勢。此種逐漸加深的環境自覺，對於減輕生態破壞相關科技之發展產生了強大的動力，尤其是在水質淨化及處理方面之新科技。

以色列人口 740 萬，面積僅約 2 萬 2,000 平方公里，小於台灣的 3 萬 6,000 平方公里。境內多沙漠，淡水資源匱乏。其地形南北狹長，平均年降水量最多的是北部，約 800 毫米，最少的是南部，約 25 毫米，全國平均年降雨量則僅有 400 至 550 毫米，約台灣的 25%，加上過去 10 年間以色列人口增長 30%，人口快速增長的壓力使淡水資源更趨於緊張。

雖然以色列全國有三分之二的面積為乾旱區，不過該國政府卻可以全球獨特之方式成功克服缺水之問題。在缺水已然成為各國政府逃避不了的難題時，以色列卻適時利用該危機創造商機，發展高科技的水資源管理及相關水處理技術。以色列現在不僅在國家水資源管理概念，包括在滴灌、水回收再利用、廢汙水淨化及海水淡化等技術方面上都扮演了先驅者及引領者的角色。

在以色列，有 75%的廢汙水被回收再利用，經處理後供作乾旱地區之灌溉用水，以利其他天然水資源提供人類及工業使用，該回收再利用率堪稱世界之最，遠遠領先世界

其他國家。

為避免長期的水量短缺，近期有數座大型海淡廠在以色列開始興建，第一座海淡廠已在南部之 Ashkelon 市完工並開始運轉，每日出水量約 27.5 萬噸，這也使它成為運用逆滲透式（Reverse Osmosis，簡稱 RO）科技來生產飲用水之全球最大海水淡化廠。

據估計，全球水科技市場價值約 5,040 億美元，而其他有關環境保護科技之市場僅有 2,000 億美元，顯示水科技市場之驚人規模。有鑑於此，以色列政府每二年舉辦一次「WATEC Israel 會展」，本次已是第五屆了，該會展除可提供全世界產官學界針對水資源管理與技術討論的交流平台，並藉此展示該國卓越之水科技及尋求商機。

在 2007 年舉辦的「WATEC Israel 會展」，除了 15,000 名以色列當地專業訪客外，另有來自世界 81 個國家的 2,000 名國外水和環境工程業專家和決策者出席。國外參訪團中包括 72 個官方代表團由以色列商務專員陪同參觀了該次展出，其中 39% 來自亞洲，27.7% 來自歐洲，12.2% 來自非洲，11.6% 來自中北美洲，5% 來自南美洲，4.5% 來自大洋洲，這當中還包括了 35 名部會首長和次長。

二、參訪見聞

本次應以色列政府之邀請至該國參訪之項目包括廢水處理、水質監測、海水淡化、節水技術、生物科技之突破、環境保護及綠色能源科技等，以下針對值得我國借鏡者分別以環境保護及水科技分類說明：

(一)環境保護

1.藻類去除煙道氣之二氧化碳

二氧化碳是產生溫室效應最主要的氣體，全世界都在花盡心思尋求解決燃燒石化

燃料而產生的二氧化碳，以減緩氣候變遷所衍生的災難。

以色列一家生物公司利用海洋中的藻類來吸收燃煤火力發電廠之煙道氣（見圖 2）裡的二氧化碳，如此不僅可以減少二氧化碳的排放，同時可以增加藻類之產量，而藻類可進一步作為食品添加劑、動物或魚類的飼料或生質燃料。



圖 2 燃煤電廠排放煙道氣

研究人員將燃煤火力發電廠釋放出的部分煤煙被直接輸送到深度約 20 至 30 公分的海藻池（見圖 3）中，海藻吸收了煤煙中的二氧化碳後長勢迅速，而透過使用海藻來吸收二氧化碳，可以將海藻的養殖成本降低約一半。

實驗結果顯示，每 1 克之海藻可吸收去除 2 克之二氧化碳，而每 1 平方公尺的海藻池面積每天可產出 20 克的海藻，估計每公頃之海藻池一年可吸收約 100 噸的二氧化碳，成效可說是相當顯著。

據了解，台灣電力公司將選擇興達火力發電廠採用此種方式來減少二氧化碳之排放。



圖 3 火力發電廠裡的海藻農場

2.ALAYA 人工溼地生態園區

本人工溼地生態園區（見圖 4）就位於 Hiriya 資源回收園區隔壁，其原理係透過自然生物系統(Natural Biological System, NBS) 建構人工溼地，利用植物淨化功能來處理封密掩埋場之滲出水、垃圾轉運站及辦公室之廢水，以達到淨化水質之目的，可處理有機污染物、重金屬、環境荷爾蒙及微生物等污染，人工溼地總面積約為 600 平方公尺及 1 公尺深。

進入人工溼地前之廢水生化需氧量(BOD)約為 5,000~9,000 mg/kg，化學需氧量(COD)約為 12,000 mg/kg，含鹽量約為 4,000 mg/kg，處理容量為每日 40 噸，操作人力不到 1 人。處理後水質之 BOD 約為 5 mg/kg，去除率超過 99%，成效驚人。

操作維護費用占成本之 10%，建造費用約為每平方公尺 100~120 美元。該公司最大實績為每日 400 噸，目前在以國約有 90 處實績案例。

這項計畫地點鄰近市中心，加上兼具觀賞及教育性質，計畫主持人還將整項工程比喻為「以色列第一座景觀型自然生物處理廠」，因此，該生態園區平時就會吸引無數學校組團帶領學童前往觀摩教學（見圖 5）。其實要進入該園區是需要門票的，不過為鼓勵學童從小養成資源回收、愛護環境的習慣，凡持 4 個（註：原票價為 5 個，因近期回收瓶罐價格上漲，降為 4 個）回收瓶罐之學童即可免費進入本生態園區。如果不慎忘了帶足夠的瓶罐者，仍可先行進入參觀，可是以後仍要遵守誠信原則將不足之回收瓶罐回補，不可以現金折抵。



圖 4 人工溼地生態園區

園區室內空間處處可見許多資源回收物品懸掛於天花板上（見圖 6），其中園區內的服務櫃檯是由廢棄的塑膠經壓縮後組合而成，洗手間的鏡子是汽車後視鏡掛在牆上，也都是別具巧思。



圖 5 學童觀摩教學



圖 7 碟型太陽能農場



圖 6 資源回收研討

3. 碟盤式太陽能系統

在全球興起使用再生能源的時代，以色列和德國研究團隊合作，成功研發在類似衛星碟型天線的面盤上，擺列玻璃鏡片聚焦日照，轉化為電能與熱能，效能遠勝傳統太陽能電池板。

以色列某家研發太陽能的公司在位於台拉維夫附近集體農場的農田上豎起全球首座碟盤太陽能系統（見圖 7），該碟盤塔座

上放置的吸收日照器材並非傳統矽原料製成的太陽能電池板，而是合成材料製成的玻璃鏡片。

傳統式太陽能集電系統由矽晶片製成，在油價飆破每桶 100 美元時，各國競相採購矽製太陽能電池板作為替代能源，再加上傳統太陽能發電系統，矽製電池板即占成本的 80%，對家庭與工業用戶負擔日益沉重。

此外，傳統式太陽能集電系統還需要大面積鋪排面板電池，在寸土寸金的國家就顯得較不實際。而此種碟型天線面盤的塔座經電腦控制後，可像向日葵跟著太陽變換角度，因而大幅提高效率。

據開發商表示，這些玻璃鏡片比矽製的太陽能電池板效能更佳，而佈滿玻璃鏡片碟盤（見圖 8）面積約 10 平方公尺，實際吸收面盤所反射日照的一部小型光電池板（見圖 9）則約 15 公分見方大小，由鎳、砷等特殊金屬製成，可將太陽能轉化為電力，而每座碟盤另接有管線可輸送冷卻水，除降低光電池板吸收日照轉化為電力時所產生的高溫外並將餘熱轉化成熱能，將熱水儲存在儲水槽。

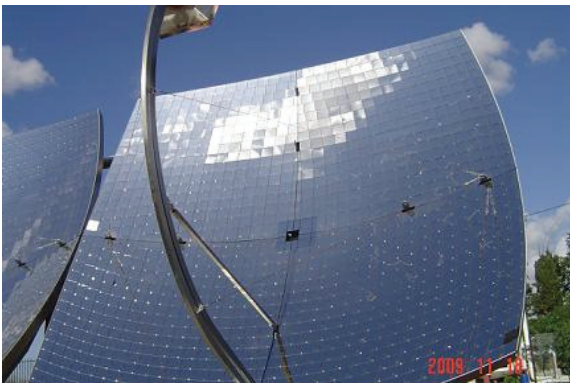


圖 8 太陽能碟盤



圖 9 高效太陽能光電池板

而每個太陽能碟盤的塔座經電腦控制後，可像向日葵跟著太陽變換角度，無需大片土地擺放面板電池，除了玻璃鏡片容易取得，塔座的基材也採強化塑膠原料，生產、安裝方便，更可降低成本。

開發商表示，傳統太陽能集電系統的太陽能使用率平均為 10% 至 15%，但其研發者可高達 72%，其中 22% 為電能，熱能占 50%。

4. 電動車示範運行計畫

目前各國政府對於電動車輛雖然不遺餘力的推行，但由於開發成本高，市場接受度低，僅占全球車產量約 2%，未來需要透

過大規模的示範運行來帶動具經濟生產可行性之規模。現階段已有不少地區開始進行小規模的示範運行，若從計畫別來看，以色列所執行的電動車示範運行計畫推行範圍最高，目前試運轉的地區涵蓋以色列、丹麥、澳洲、美國、加拿大等多個國家。

為改善汽車需要長時間充電的瓶頸，以色列設計的系統特別加入了直接更換電池的服務，只要將車駛入廣設的電池更換站，5 分鐘內即可完成電池更換，如同汽車加油一樣的便利，藉此可大幅提高電動車推行的可行性，而所有電池均屬於系統經營者所有。不過，充滿電的電池每次僅可供車輛行駛 160 公里，較現行一般小汽車加滿油箱可行駛超過 500 公里之距離仍有一大段差距。

根據以色列設計的系統，由經營業者提供電動汽車充電及更換電池的服務，所有充電站（示範充電座見圖 10）均與中央電腦連線，透過電腦網路智慧系統，使電動車駕駛易於使用及尋找最近之充電站或電池更換站。而消費者可採取信用卡刷卡方式，向電力公司購買電力，中央電腦可控制充電時間及協助駕駛掌握路況，並提供有關附近可用之充電站及電池更換站之資訊。



圖 10 電動車示範充電座

以色列政府已計劃於 2020 年以前在當地建立全世界最完善的電動車系統，預計在國內設置 50 萬個充電座以及 125 個電池交換站，而電動車上之充電插頭也安置於一般汽車之加油口處。

以色列經營業者表示，基礎設施未來將開放讓其他業者使用，以提供供電等服務；此外，使用該系統之電動車輛每行駛 1 公里，將提供車廠一定之回饋金額，以作為車廠之經濟誘因。

(二)水科技

1.水回收再利用

位於台拉維夫市附近的 Shafdan 汗水處理廠，隸屬於以色列 Mekorot 國營自來水公司，負責處理該國人口最密集的 Dan 區域超過 200 萬人口的廢汗水，每日處理量約 38 萬噸。

以色列早期的汗水是採直接放流入海，直到 Shafdan 汗水處理廠成立後才改進成為傳統式的二級汗水處理，該廠目前也是地中海沿岸國家中最大且最先進的汗水處理廠。

Shafdan 汗水處理廠，佔地面積 200 公頃，主要設施包括前處理單元、4 個生物氧化池（每個容量 55,000 立方公尺）以及 12 個終沈池（每個容量 7,500 立方公尺），構成標準的二級生物處理。處理之程序包括進流井、攔污與初篩、曝氣沈砂池、生物處理槽（活性污泥氧化渠，停留時間約 15 小時，可達硝化程序）、生物脫硝、沈澱及放流回收等。

進入 Shafdan 汗水處理廠汗水之生化需氧量(BOD)濃度約為 400 ppm，懸浮固體量(SS)約為 400 ppm，氨氮約為 50 ppm。經二級

處理後的水，生化需氧量、懸浮固體量及氨氮都可降至 5 ppm 以下。然後再將處理水注入沙丘，藉助土壤的過濾作用深入地下水層儲存約 400 天。

與地下水混合後的水質，據業者聲稱已可達飲用水的水質標準，不過主要還是用於農業灌溉使用，目前已用於種植包括柳橙、紅蘿蔔、馬鈴薯、萵苣、小麥及花卉等作物。據了解，以色列的再回收廢水，75%運用於農業用途，境內有 40%的農地則使用淨化後的廢水灌溉。

2.滴灌

以色列之農業地區主要分布於沙漠性質之沙質土壤上，蒸發量大，因此灌溉系統多採埋設管路做為輸送灌溉水之用，送到灌溉地區後再採微細水管之滴灌方式以節省用水量。

以色列農業用的滴灌技術獨步全球，滴灌技術可以使水直接輸送到農作物根部，比噴灌節水 20%，而且在坡度較大的耕地應用滴灌不會加劇水土流失。化肥製造商也積極開發水溶性的產品，使施肥可與滴灌同時作業，如此不僅可提高施作效率，亦可節省 30%之肥料使用。

據業者表示，滴灌設備之鋪設費用每公頃約美元 2,500 元，管線約埋至地表下 30 公分，管內可承受壓力高達 10 個大氣壓，一次動力傳輸可達 1,000 公尺之遠，在一般情況下，管線壽命可達 6 至 8 年。

3.水質檢驗

以色列某家水質檢驗業者利用紅海中之發光細菌在面臨污染的情況下會改變發光強度之特性，作為水質污染的指標，對於污染物敏感度可至 ppm 或 ppb 的等級，可偵

測有機及重金屬污染物，該公司的關鍵技術為提升該細菌發光能力之添加物配方。

該公司產品適合「早期警告」，在數分鐘內即可測知遭受污染，惟目前仍無法偵測是何種污染物及污染物的濃度。

產品分為攜帶型及連續型兩種，攜帶型約為美金 5,000 元，試劑約為美金 850 元，可使用 50 次。連續型約美金 50,000 元，內部模組約為美金 900 元。

據該公司表示，連續型可幾近即時方式進行水質監測，預計更換一次內部模組，可連續使用 30 天，期間無需維護，該產品設計減少內部管線之生物淤積(Biofouling)，大部分管線將隨同內部模組更換。

美國環保署(USEPA)已將生物感測計(Biosensor)列為適當之飲用水源預警機制之方法，該公司之檢測方法於 LC50(致死濃度 50)之檢測濃度可達到 KCN 之 0.5mg/L、Cd 之 0.2mg/L 以及 As 之 0.09mg/L 等。

4. 漏水防治

以色列是一個高度缺水的國家，寶貴的水資源得來不易，自來水管線漏水的情形應該儘量避免。目前，以色列的無費水量率低於 10%，約是歐洲國家平均水準的一半，像英國首都倫敦者則高達 40%。

以色列某業者目前正在菲律賓馬尼拉執行漏水防治之工作，據了解，馬尼拉之無費水量(Non-Revenue Water, NRW)率在最近 10 年內由 67% 大幅下降至 25%，成效斐然，非常值得我國借鏡。

我國自來水價格自 1994 年前即未曾調整過，現行水價除僅為世界各國平均水價之四分之一，甚至低於其產銷成本，因而在此產生一個爭議，由於漏水防治經費往往遠大

於管線檢修漏回來之自來水量之總價值，因此有人懷疑這種投資是否值得？不過如果現在的自來水供需(含管線漏水量)已達平衡，假設還要增加供水量，此時就應思考新增水量應來自新開發水源或是減少管線漏水量，而其中判斷的依據應該就是何者成本較低。

三、感謝以色列政府捐贈

2009 年 8 月莫拉克颱風重創南台灣，造成多處地區自來水供應中斷，以國政府獲悉南台灣災情慘重，隨即主動致電表達關切與慰問，並表示除願意提供必要的物資支援，若要調派受過專業訓練的搜救人員，他們也可全力配合。

此外，以國政府也捐贈數百台簡易淨水器與兩套輸水系統，價值超過新台幣 100 萬元，期盼災區民眾能飲用潔淨清水，以重建家園，早日回復正常生活。

現在災區供水已經恢復正常，台灣自來水公司代表於拜會工貿部長時，在環境保護署沈世宏署長及我國駐以色列代表處丁干城代表之陪同下特別致贈以國政府一座感謝狀(見圖 11)，除表達感謝之意，亦替我國成功達成國民外交之使命。



圖 11 致贈感謝狀予以色列政府

在致贈感謝狀時，當台水公司人員以希伯萊文感謝以國政府援助時，獲得以國在場官員熱烈的掌聲回應，現場氣氛極為溫馨。

四、結論與心得

(一)環境保護

1.太陽能技術具有高參考價值

以色列研發之創新式碟盤太陽能系統具有低價格、高效能之優勢，未來勢必會在競爭激烈的市場中脫穎而出。

探究其價格低廉之原因在於該碟盤塔座上放置的吸收日照器材並非傳統矽原料製成的太陽能電池板，而是合成材料製成的玻璃鏡片，而矽製電池板通常即占成本的 80%。如果將其原本約 10 平方公尺之面積縮小至約 15 公分見方大小之光電池板，成本自然大幅降低。

此外，傳統式太陽能集電系統需要大面積鋪排面板電池，在寸土寸金的國家就顯得較不實際；而且此種碟型面盤可像向日葵跟著太陽變換角度，不僅聚光效果較平板式為佳，該光電池板之轉換效率又較一般太陽能矽製電池板高，所以可以大幅提高效率。

在全球氣候變遷之影響下，再生能源發展為一不可逆之未來趨勢，我國應該借鏡以國技術，積極自行發展太陽能科技，不過類似高效率光電池板之關鍵零組件應有效掌握。

2.藻類去除二氧化碳之技術仍有瓶頸

由於海藻需要陽光才得以執行光合作用，以去除二氧化碳，海藻池深度即受到限制，實驗農場者僅約 20 至 30 公分。如果排放氣體量大時，海藻池所需之面積就變得非常大，在地狹人稠的我國有時顯的不太可行。據了解，我國已有研究機構嘗試，將海

藻池以圓柱瓶狀方式直立，以擴大太陽日照面積，其實驗成效仍有待觀察。而海藻在夜晚或日照不足時，二氧化碳的轉化效率也將停止或降低，這些因素都是決策者未來應予考量者。

3.電動車管理系統仍有難題待克服

為改善汽車充電需要長時間的瓶頸，以色列設計的系統特別加入了直接更換電池的服務，只要將車駛入廣設的電池更換站，5 分鐘內即可完成電池更換，如同汽車加油一樣的便利，藉此可大幅提高電動車推行的可行性。

以色列業者所開發之系統，在理論上應為可行，不過除了充電站及電池更換站有待各國政府大力支持，輔導業者廣為設置外，目前電動車價格過高，電池過重、續航力不佳以致行駛距離過短等，也是必須克服的難題。

4.我國固體廢棄物處理成效優於以國

以國政府計劃於未來 10 年內，將每人每日垃圾產生量從 1.5 公斤降至 1.0 公斤，反觀我國在 2008 年每人每日垃圾清運量已自 10 年前超過 1 公斤大幅下降至 0.52 公斤，而且除現行資源回收率已達 42%，並訂定在 2012 年時之目標回收率為 60%。由以上數據可看出，我國固體廢棄物處理之成效明顯優於以國，反倒可供其借鏡。

(二)水科技

1.我國須加強水資源之開源與節流

(1)水資源回收再利用

有關水資源回收再利用，以色列確實做到了 1 滴水當 10 滴用，未來以色列更計劃農業灌溉所需之用水全部採用汗水再處理後的回收水。

以色列廢水回收再利用率達到 75%，遙遙領先世界其他國家，包括西班牙的 12%，澳洲的 9%，及義大利的 8% 等，非常值得我國效法。

(2) 滴灌

以色列農業用的滴灌技術獨步全球，滴灌技術可以使水直接輸送到農作物根部，比噴灌節水 20%，而且在坡度較大的耕地應用滴灌不會加劇水土流失。化肥製造商也積極開發水溶性的產品，使施肥可與滴灌同時作業，如此不僅可提高施作效率，亦可節省 30% 之肥料使用。

由於全世界的水只有 0.3% 可供飲用和灌溉，20 年後，世界人口將超過 80 億，這種技術自然非常具有吸引力。

(3) 海水淡化不可避免

由於全球氣候變遷，降雨之分布在時間及空間上都愈加趨向極端的形式呈現，使我們了解在我國未來新興水資源是不可避免的必須與傳統水資源共同存在發展。在可預期的未來，沒有其他的新興水資源較取之不盡的海水淡化更為可靠，然而海水淡化不僅費用昂貴，其政策也不是一蹴可幾的，我國應師法以色列儘早妥善規劃，以避免日後之措手不及。

實際上，以國海水淡化成本每噸約新台幣 23 元左右，已低於我國建造水庫開發水資源每噸約 27 元的成本，顯示海水淡化已具發展潛力，且隨科技快速進步，未來處理成本還會降低，我國相關主管機關實應全面妥善規劃，及早因應。

2. 漏水防治刻不容緩

我國雖然年平均降雨量達到 2,500 公厘以上，由於降雨分配不均，加上地形陡峭，

水資源保留不易，我國已被列為全世界第 18 名的缺水國家，自來水管線超過 20% 的高漏水率自然無法被接受而時常為人詬病。

以色列是一個高度缺水的國家，其無費水量率低於 10%，的確值得我國效法。以色列某知名業者目前正在菲律賓馬尼拉市執行漏水防治之工作，據了解，馬尼拉之無費水量率在最近 10 年內由 67% 大幅下降至 25%，成效斐然，非常值得我國觀摩學習。

由於我國自來水價格偏低，甚至低於其產銷成本，使得漏水防治經費往往遠大於管線檢修漏回來之自來水量之總價值，不過假設還要增加供水量，藉由減少管線漏水量之成本投入勢必低於新開發水源，因此正確有效率的自來水管線漏水防治之工作實在是刻不容緩的。

3. 水價偏低不利水資源政策

在國際水協會 2008 年所公布 30 個國家或地區的資料中，平均水價最高者為德國之 99.1 元，台灣自來水公司之平均水價排名第 27 名，為倒數第 4 名，平均每度水價為新台幣 10.84 元，僅達平均各國自來水價格 40.1 元之 26.9%。以色列水價為每噸 41.6 元，略高於世界平均值。

87 年至 96 年間，我國平均每人 GDP 由 12,679 美元成長至 16,792 美元；平均每戶消費支出則由新台幣 64.6 萬元上升至 71.6 萬元，惟同期間之每戶每年自來水費負擔占消費支出比率卻由 0.34% 逐年下降為 0.3%，成長率為 -11.8%，與世界衛生組織認定合理自來水費負擔占消費支出之標準為 1% 至 2% 相去甚遠。

台灣自來水公司 96 年度之平均單位水價為每度 10.84 元，平均單位成本為 10.89

元，也就是水價甚至較成本為低，給水投資報酬率為負 0.07%，較經濟部 95 年 7 月 10 日所訂頒「水價計算公式及詳細項目」之法定給水投資報酬率 5%~9% 相差甚多。

水價過低，除無法有效鼓勵民眾節約用水、珍惜水資源，對於工業界回收再利用水資源之推動也毫無誘因，因為價廉物美之自來水使得工業界購買自來水之費用往往遠低於自行建置回收再利用系統之成本。

此外，過低的水價將使自來水事業單位之財務狀況失衡，導致無法適時更新設備與汰換老舊管線，進而降低經營績效，相對形成政府對於大量用水者之補貼，衍生用水效率與社會公平的問題。

4. 政府整合資源推動水科技產業

水資源之逐漸匱乏，水科技產業已成為未來之重要產業，全世界各先進國家莫不爭相競逐投入。有鑒於以色列、韓國之成功經驗，我國政府相關主管部門應主動居中協調整合，集中有限資源，發揮國家整體力量，推展水科技產業。

5. 他山之石

除本次舉辦「WATEC Israel 2009 會展」的以色列積極在全球拓展水科技產業外，亞洲的日本早已嶄露頭角外，韓國亦不遑多讓。

韓國甚至在 2008 年於奧地利維也納舉辦的 IWA Water Congress 會展中設立國家館（見圖 12），展示該國之水科技。該國家館係由韓國政府結合四家民間業者共同出資籌設，包括 Samsung、K-water、Doosan Heavy Industries & Construction 等知名廠商，顯現韓國於 21 世紀發展水科技產業，並全力支持民間業者向國際拓展市場、爭取商機之強烈企圖心。此外，韓國更爭取到主辦 2012 年在

浦山舉辦的 IWA Water Congress。

韓國當時參展之 4 家民間業者之一的 Doosan Heavy Industries（中譯為鬥山重工企業），十多年前原是沒沒無聞之小企業，經過多年努力，藉由韓國政府全力扶植及排除相關障礙，目前已是全球數一數二之海淡設備供應商及統包業者，其規模及技術能力早已不容小覷。該公司在世界各地，尤其是中東地區已獲得無數重大海淡廠之標案，成功奠定該國於國際海淡市場之地位。對於國內水科技市場已逐漸飽和而必須向外拓展之我國，此種經驗頗值得參考借鏡。

同時，我國相關單位亦應反思，為何在 1990 年代末期遭受亞洲金融風暴襲擊後之韓國能夠迅速重新振作，在國際海淡市場成為翹楚；而當時安然度過亞洲金融風暴之我國，迄今卻無法於世界舞臺上爭得一席之地？



圖 12 韓國於 2008 年國際水協會大會設立國家館

作者簡介

蕭宏民先生

現職：台灣自來水公司專門委員

專長：衛生工程、水利工程

周國鼎先生

現職：台灣自來水公司工程師

專長：水處理、空氣污染防治、環境規劃

國際自來水瞭望台

譯/范家璋

越南三角洲城鎮水質及衛生改善計劃的實施

三角洲城鎮 (3DT) 水質及衛生改善計劃使得位於越南湄公河三角洲的三座城市因為供水及環境上的改善帶動了當地居民生活品質的提升。種種的改造及建設如淨水的供給、沖水馬桶的配置、及教育的興辦造福了超過二十八萬人。Mandi Zonneveldt 親自參訪了這項計畫的推行，並見證這些改變對於當地居民生活帶來的顯著影響。

Tochau 社區位於越南南方偏遠的小城河仙 (Ha Tien) 近郊，在這裡，當 Tran Kim Hien 看到自家後方唯一的水閘流出乾淨的水源時不禁露出會心的一笑。對於身處開發完善城市中的大部分人來說，轉開水龍頭看到淨水是再自然不過的事了，然而對於 Tran Kim Hien 等人而言，能如此輕易的取得淨水代表著足以改變生活的創舉。

在自來水設施出現在 Tochau 鎮前，當地居民唯一的取水來源便是一個受污染的公用井。為了取水，民眾不但需要透過漫長的排隊等待，還得負重背回住處。如此耗時費力的取水方式對於 Tran Kim Hien 一個擁有五個孩子的家庭來說，取得足夠一家一天的用水往往得花上四個小時的時間。然而自從自來水設施安裝完成後，Tran Kim Hien 不僅有更多的時間能與丈夫一起販售海鮮賺取生活費，孩子們也變得更健康，且更規律的出席學校課程了。透過翻譯，Tran Kim Hien 表示：「現在我真的無法想像沒有自來水的生活。近代這一區的人口成長了很多，如果還得排隊取水的話不知道還要花上多少寶貴的時間。」

河仙是越南南部三個受惠於三角洲城鎮供水及衛生改善計畫 (3DT, Three Delta Towns Water Supply and Sanitation Project) 的

城鎮之一。這項耗資八千萬澳幣(約美金六千五百五十萬元) 的計畫由澳洲政府透過澳洲國際發展署(AusAID, Australian Agency for International Development) 及越南當地政府共同出資策劃，再由專業的跨國企業 GHD 協助管理。

過去七年內，這項計畫共投資超過澳幣六千萬元 (約美金四千九百萬元) 於河仙、沙德 (Sa Dec)、及薄寮 (Bac Lieu) 三地建立淨水處理廠及傳遞淨水至住家的相關公共建設，使三個城鎮的居民一天二十四小時皆可直接取得飲用水。初步估計，因為這項計畫受惠的民眾超過十四萬人。

在地處低窪的沙德及薄寮，為了促進暴雨後大量水源的排放，低效能且不潔的排水設備皆經過全面修整或更換。特別是薄寮，由於淹水問題一年之中可能有五個月，且深深困擾當地一半以上的居民，如此的改善對於當地的經濟效益估計一年可達兩百萬澳幣(約一百六十萬美金)。

除此之外，之前未受管制的垃圾處理問題也以較衛生的填埋法取代，並以先進的設備收集並處理垃圾掩埋滲出水及有害廢棄物。明顯較之前乾淨、整潔的街道上隨處可見由澳洲公司 Sulo 生產的綠色垃圾桶。各城鎮也配有卡車及推車提供居民更方便、有效率的垃圾處理服務。這些處理方式日後都將成為越南各地垃圾處理的執行標準。

沙德鎮人民大會的主委 Tong Kim Quang 表示，這項企畫對於當地的繁榮及發展帶來了極大的助益，使其能快步跟上工業發展的趨勢。

多虧當地便捷公共建設的設置，位於沙德鎮市郊的工業區已經全數招商完成。同時，沙德鎮的人口數也估計將於 2020 年前自原先的十一萬人增至十五萬。Quang 希望，

屆時這個眾所期待的經濟中心能為當地帶來更多可觀的建設及經濟效益。

因為這項企畫，沙德鎮的供水量大幅成長了近三倍 - 從每日 8,000m³ 成長為 20,000m³。受益範圍也因傳輸網絡的擴張延伸至郊區，使得當地的農業能蓬勃發展。Quang 表示：「若不是供應量的增加級網絡的發展，舊有的供水量是無法滿足當地用水需求的。」同時，Quang 及共同參與這項工程的人員也同意，真正因這項企畫受惠的應該是社會最基本的構成族群：家庭及社區。從今往後，汗水及以魚池充當便池等問題將正式走入歷史。

化糞池的建造

除了上述的種種建設外，三角洲城鎮供水及衛生改善計畫中最成功、且成效影響最廣泛的該屬其中的微型信貸方案。這項方案使得住宅區每戶人家都有能力於自宅內設置最基本的衛生設備 - 沖水馬桶，特別是較貧窮的幾個區域。

這項公共衛生信貸方案由當地社區婦女聯盟 (TWUs, Township Women's Unions) 執行，以不到十萬澳幣(約八萬一千九百美金)的資金於三個城鎮的住宅內安裝了共 4,400 間廁所。

身為三角洲城鎮社區發展計畫的主委，LeThi Hao 表示，她對這項方案最深刻的印象之一便是一位自信貸中借款於自家簡陋的木造小屋內設置沖水馬桶的 Khmer 婦女。她說：「我在她的住處四處環繞，看不到任何值得注意的地方 - 因為基本上房子裡甚麼也沒有。然而當我問到她最在意家中的什麼部分時，她竟然毫不考慮的回答『沖水馬桶』，還說這是她家最美麗且有意義的東西了。」

在沙德，這項方案更被進一步的延伸至協助家庭安裝沼氣處理裝置，將豬圈中的排泄物轉化成瓦斯供日常烹飪用。沙德婦女 Pham Thi Sau 相當樂於與鄰居分享她的使用

經驗：四個豬圈裡每天收集的排泄物可提供足夠兩個家庭一日的瓦斯用量！自從沼氣處理裝置正式啓動後，她每天只要轉動瓦斯爐便可輕易取得瓦斯。相較於之前每天需花數小時撿柴/劈柴/升火，這個改變讓她相當滿意！

Hao 女士曾致力推動衛生信貸方案，進行與 TWU 代表及社區會員的協商。針對月收入低於四十澳幣 (約 US\$32.8) 的家庭諮詢他們對於種種住宅內衛生建設的負擔能力，並成立一項財務處理機制，將半數的利息所得移作投資來增加放款資金，以推廣信貸方案的實行規模及自主性。

宣導

與信貸方案同步進行是一項包含推廣洗手及疾病防治的公眾衛生宣導活動。意識到孩童對於帶領家庭甚至社區共同進行改變的重要性及能力，這項宣導活動同樣是由校園起跑。

淨水的好處及正確衛生觀念的重要性從近代的幾項健康統計裡可見一斑。就河仙而言，腹瀉的發生率於 2005 至 2007 年間大幅降低了 270%，而傷寒、霍亂、和瘧疾等疾病爆發的機率也下降了五倍之多。

除了上述對於環境的直接影響外，這項專案對於當地尚有一些間接的貢獻，便是專業人才的培訓。TWU 的會員一直以來即是推廣社區發展活動的執行要角。為了更有效率的達成預定目標，這些專員接受了管理、財務、及推廣實務等密集訓練，使之無論在專業能力或執行信心上的增進上都有目共睹。

Hao 女士也表示，廣為實行的諮詢活動不但能使當地居民了解此項專案的必要性，更能增加民眾的參與感及配合意願。許多民眾甚至願意將有限的資源貢獻出來修建社區的公共設施，如人行道、排水設施、及校園衛生設備的擴充等。而無法於財務上提供協助的民眾則樂於捐出技藝或時間，積極投入

修建工作。大家有錢出錢、有力出力，共同為社區的建設盡己所能，協助開發。

坐落於沙德鎮 Truong NuTien Hoc 校園的磚牆公共廁所與西方小學內的廁所相比絲毫不遜色。多虧各界對於落實 3DT 企劃的資助，現在，潔淨的西式沖水馬桶及陶瓷洗手檯已正式進駐，取代了之前不合時宜的簡陋設備，更為改善當地衛生條件的目標起了推波助瀾的功效。不僅如此，教室內的牆壁上還張貼著宣導勤洗手的壁畫，校長 Ngo Thuy Anh 也表示，當地學生自宣導海報及短片中學到了許多正確的衛生觀念。她說：「很明顯的，這類知識對學生們的健康大有益處。」

自其國際發展援助事業 (IDA, International Development Assistance) 於 1968 年成立後，GHD 企業已於全球七十個國家進行超過八百項專案。這次的 3DT 團隊由 Geoff Bridger 帶領，並囊括超過五十名來自澳洲、越南、及世界各國的水力、衛生、社區發展、及制度強化專員共同進行策劃。

GHD 的 IDA 全球經理 Robin Povey 表示，3DT 這項企劃為他所屬的公司提供了一次非常獨特的經驗-不僅給他們一個為低度開發地區規劃水力及衛生改善計畫的機會，並得以實際於三個規模足以在西方社會被稱為「市鎮」的鄉鎮進行操作。

身為專業的土木工程師，Povey 先生不僅在水力方面擁有超過四十年經驗，還多次參與各項橫跨亞洲的發展企劃案。即便早已身經百戰，Povey 先生對於這次專案對整個湄公河三角洲社區的影響仍相當動容。他說：「我們的團隊和澳洲民眾有絕對的理由為這項企劃的成果感到驕傲！雖然這是一項針對硬體設備進行改革的企劃，如水泵、管線、及水泥的修建，但是我們可以很清楚的看到當地居民的生活環境和品質因為這些改變得以大幅提升。同時，各方的努力也直接反映在當地孩童及他們的師長、家人臉上透露出的愉悅上。對於這樣的成果，我想是任何人都會

趕到欣慰的。」

有感於社會大眾及國際間的付出，當地居民將他們對於種種建設的謝意以教條的方式直接漆在 Truong Nu Tieu Hoc 校園廁所牆面上；教條中第五項更是直接教導學生對於樂捐者要心存感謝。

Povey 先生說：「他們對於澳洲當局的慷慨及用心心懷感激；我想這對所有為這項計劃貢獻心力的人來說就是最好的回報了。」

(摘譯自 Water21 - Magazine of the International Water Association Oct., 2009, 范家璋)

中華民國自來水協會第十六屆第四次會員代表大會暨 第四十二屆自來水節慶祝大會會議紀錄

時 間：98 年 11 月 17 日 9 時

地 點：國立臺南生活美學館演藝廳

出席人員：應出席會員代表 326 人，實際出席會員代表 263 人。個人會員參加自來水節大會 486 人。

上級長官：水利署楊署長偉甫

貴 賓：台南市許市長添財、台南縣顏副縣長純左、嘉南農田水利會徐會長欽錫、南部科學工業園區管理局陳局長俊偉、立法院賴委員清德、前李立委全教、台南市水管工會張理事長丁標

主 席：廖理事長宗盛

議 程：

壹、自來水重要事蹟回顧。

首先以 VCR 方式回顧自來水協會、台灣自來水公司及台北自來水事業處在自來水工作重要成果與績效。司儀旁白如下：

一、前言：

「水」為人類生活三要素之一，不可一日或缺。隨著社會環境變遷，經濟繁榮，除滿足用戶之用水需求外，亦持續致力「普及率之提升」及「技術、管理之創新」，冀期達成「提升國民生活水準、促進經濟發展」之使命。

二、重要事蹟回顧：

(一)產能開發：

- 1.寶山淨水場第 3 期擴建工程，每天將可增加 34 萬噸的供水量來保障新竹科學園區工業用水不虞匱乏。馬英九總統主持功能試車通水典禮，給予高度肯定。
- 2.「金門地區水資源整體開發計畫」；預計 98 年底下湖人工湖工程完工後每日供水量可達 30,523 噸。
- 3.新建『馬公 5500CMD 海淡廠』、整建『馬公既有 7000 海淡廠』及整建『望安既有 400CMD 海淡廠』，使馬公及望安地區未來長久供水穩定，並推動興建海淡廠之發展策略。

(二)淨水處理

- 1.為維護原水水質、提供優良品質的自來水，除加強監視、取締污染源外，亦加強提

升淨水處理的技術與認證。

- 2.高雄地區澄清湖、拷潭、翁公園、鳳山等淨水場，陸續增設高級處理設備工程，提昇大高雄地區自來水在口感、味覺與硬度等適飲性品質，及因應未來日趨嚴格之飲用水水質標準。
- 3.金門太湖淨水場規劃設置高級處理場，有效處理總溶解固體、氯鹽、氨氮及總三鹵甲烷等困難處理之污染物。目前已完成為期一年之模型場試驗。
- 4.台灣自來水公司為落實國營事業 TQM（全面品質管理）制度，陸續推動相關大型給水廠通過 ISO14001 驗證，97 年鯉魚潭給水廠取得全國首張證書，98 年由南化給水廠取得證書，另東興給水廠、深溝給水廠正陸續推動中。
- 5.為了確保出水安全，無論是台灣自來水公司、台北自來水事業處、金門自來水廠，其水質檢驗單位均已通過取得符合國際實驗室認證標準 ISO /IEC 17025 規範；行政院環境保護署「環境檢驗(測)機構設置許可證」，自來水水質檢驗技術與數據無庸置疑。

(三)供水精進

- 1.近年來利用電腦及自動化監控設備對淨水處理、水質檢測、供水管路等進行操作與監控，皆甚具成效。
- 2.宜蘭地區更精進建置與運用地理資訊系統、開發 PDA 輔助閘栓巡查暨修漏定位管理系統、即時監控及數據擷取系統(SCADA)、線上分區計量作業等等。

(四)用水宣導

- 1.台灣地區年平均降雨量雖高達 2500mm，但山高流短、人口密集，所以仍被列為缺水地區；在水資源有限、水源開發日益困難條件下，自來水相關單位均積極推動各項節約用水宣導活動，利用網際網路、大眾傳播媒體、報紙、平面宣導摺頁、海報等媒介，傳達各項節約用水訊息。
- 2.結合社區及團體活動，灌輸民眾(機關和學校)用水管理、用水減量等節水概念，讓社會大眾從思想扎根並實際做到「愛水、節水、惜水源」。

(五)文化瑰寶

- 1.文建會於 2007 年成立了「自來水產業文化資產調查小組」，進行水公司所屬資產的文化價值總體檢。在歷史軌跡的這一塊，就讓我們慢慢品味自來水文化資產與歷史古蹟之美。從清查出來的文獻、文物、機具、建築、聚落、遺址、文化地景、自然景觀、技術等資產當中，詳細記載著先民數百年來的開拓足跡，我們發現自來水的歷史與其發展系統，展現出自來水豐厚的文化延續。

2.舊有各式水管，於民國 83 年於淡水營運所水源地園區佈置保存 作為展示使用，入口石柱題字「石門區水廠」為 1963 年陳誠副總統所題，入口大門管理室及門柱，極具當時建築特色。這些文化性資產，除了文獻檔案蒐藏之外，老員工的訪談與記錄，亦成爲一項應該保存的重要紀錄及台水歷史文化的見證。

(六)國際交流

- 1.中華民國自來水協會與國家地震工程研究中心、國家災害防救科技中心於 2009 年 10 月 14 日至 16 日假台北市國家地震工程研究中心，共同主辦第 6 屆「台、美、日自來水設施耐震對策研討會」。
- 2.2009 年 10 月 18 日在台北市舉辦第三屆 IWA-ASPIRE〈國際水協會亞太區會議及展覽會〉，會中透過與各國交換解決污水下水道、自來水系統等經驗，讓解決水的問題得到不少助益。
- 3.台北自來水事業處於 98 年 2 月 27 日舉辦「2009 漏水防制與管理研討會」，邀請產業界、政府機關、國內外學界等就「國外漏水防制與管理實例」發表相關論文，對提升國內漏水管理之技術具有正面效果。

(七)用戶關懷

- 1.因應天災成立緊急應變小組
- 2.於颱風前宣導用戶先行儲水備用，並配合節約用水
- 3.嚴密監控水質濁度
- 4.調派人力搶修供水設備
- 5.協調各單位運送供應緊急用水需求
- 6.針對停水地區定點設置臨時供水站
- 7.將民眾用水造成不便的影響降至最低
- 8.同時提高供水使用效率

三、未來願景

由於近年來氣候異常，已逐漸顯現水資源不足與不均的情形，因此持續推動節約用水、提昇水資源利用率，積極提升營運績效、操作管理及國際合作技術交流，賡續落實在「品質(Quality)·創新(Innovation)·信賴(Credibility)·專業(Knowledge)」的理念下，推動並呼籲民眾愛水、惜水並落實於日常生活中，達到全民愛水、節水、惜水源的目標。

貳、中華民國自來水協會第 41 屆自來水節慶祝大會典禮。

一、典禮開始—奏樂

二、恭讀總統賀電文

「欣聞 貴會訂於本(98)年 11 月 17 日舉行第 42 屆自來水節慶祝大會暨第 16 屆第 4 次會員代表大會，特申賀忱。至盼賡續秉持創會宗旨，汲引國際科技新知，提升供水效能品質，積極宣導惜水觀念，共同為我國自來水事業永續發展貢獻心力。敬祝大會圓滿成功，諸君健康如意。」

三、主席致詞：(廖理事長宗盛致詞)

今天是自來水節也是第 42 屆自來水節慶祝大會，感謝自來水公司陳總經理、水利署楊署長、黃前總經理、李前總經理也是水協常務幹事，及各位理監事、各會員代表撥空參加今日慶祝大會，自來水協會至今已成立五十餘年，本著創會宗旨無私無我奉獻心志，造福國家貢獻社會，今年在 9,090 社團中，本社團經內政部評鑑為甲等社團，這是在座各位會員努力的成果。台灣表面上水資源豐沛，但卻也是世界排名第 17 缺水國家，為解決缺水問題，本協會不斷辦理國際交流，希望透過國際交流讓自來水事業更精進，今年辦理二項國際研討會：「第六屆自來水設施耐震研討會」、「第三屆國際水協會亞太地區會議及展覽會」。因台灣與日本同處地震頻繁地帶，每二年舉辦乙次自來水設施耐震研討會，透過研討會知道如何選用適當管材、適當工法，達到減震效果，如遇地震發生時，減少影響自來水設施程度，使其快速恢復。並藉由本項研討會議與國內參與者進行廣泛之經驗交流，提升國內自來水管線災害預防、防震技術、救災措施之改進裨益匪淺；且本次會議適逢 921 大地震十週年，使本項研討會更具意義。

另一大事係主辦國際水協會亞太地區會議及展覽會，國際水協會以地球村的胸懷，將世界各國、各地水界組織起來，積極解決世界各地有關「水」的各項問題，如水資源的開發、自來水的淨水、污水的處理、水資源的回收再利用…等等，均在此會中研討。本研討會第一屆於 2005 年在新加坡舉行，第二屆於 2007 年在澳洲舉行，本屆誠蒙李前理事長及國際水協代表駱教授、葉教授的爭取，今年在台灣舉行。研討會來自世界 37 個國家、國內學者專家 831 人出席、發表論文計 Oral 295 篇、poster 148 篇。並榮蒙 蕭副總統代表 馬總統及我國政府親蒞大會開幕致詞，熱烈歡迎來自國內、外學者專家出席本次會議。並同時嘉許自來水協會及台大環境工程研究所駱教授的努力爭取下，在有限的人力、財力下，仍積極籌辦大型國際會議，以專業學術成就，有效提高台灣的國際能見度，予以肯定與鼓勵。展覽會中 42 個攤位參加展示，對各家廠商產品之宣傳效果良好，透過 IWA 國際組織分享世界各國豐富的「水」技術與管理經驗，希冀對台灣未來「水」的政策研擬、工程技術、經營管理助益良多。會後

閉幕晚會蒙 行政院吳院長親蒞致詞，提出台灣目前面臨「水多、水少、水濁」的問題，如何解決因應作為努力的目標。除感謝國內、外學者專家熱烈的前來參會外，並嘉許本次會議舉辦的非常圓滿成功。

去年辛樂克、卡玫基颱風、今年的莫拉克颱風，重創南台灣供水設施，尤其南化水庫蓄水量驟減，請自來水公司及水利署協助，將曾文水庫及南化水庫連通管線儘早完成，並且應增加南化水庫處理容量，使曾文水庫、南化水庫及高屏攔河堰形成連接系統。另湖山水庫預定將 101 年完成，但湖山水庫下游輸水工程及林內淨水廠擴建工程，均尚在推動之中，依福山水庫供水計劃，每天應增加 34 萬噸生活用水供給量，解決雲林縣水林等地區用水問題，如尚有餘力可支援彰化地區的用水。再則 97 年度台水公司售水量 22 億噸，但用電量卻使用 9 億噸，政府石門水庫活化，上、中層取水功能業已完成，水利署應可研議將分層取水功能，應用於取用濁度較低的原水，將會更有效率。以上之建言，希望相關單位得以採納，避免近年來颱風所造成之窘境再度發生。

但為達成相關之建設，必須有足夠財源支應，自來水之水價已 15 年未調整，每次均仰賴公務預算支應，並非長久之計。故水價的適度的調整，不但提升水的再生利用，並會成為節約用水的誘因，亦可促進水產業之發展，故大家應共同努力推動水價適度的調整。昨日中國時報社論提出「郵電價格的凍漲」，實在不符合經濟邏輯，其實水價平均佔家庭總支出不足 0.3%，遠低於 WHO(世界衛生組織)支出標準 2%~4%，故水價的適度的調整，才有充份的財源做好水源的開發、水源的管理。

四、貴賓致詞：

(一)台南市許市長添財

敬愛的廖理事長、楊署長、各位長官、各位貴賓、台南縣副縣長以及各位伙伴，大家早安、大家好！

自來水在台灣生活指標上是一個重大的突破，在聯合國能夠列入已開發國家，自來水貢獻良多。談到自來水就會談到台灣第一個水庫烏山頭水庫，緊接著很多水庫陸續發展。如何地盡其利，如何利用大自然來滿足人類需求，在整體自然環境之間，應重新思考，讓它透過科技、人文達到天人合一，這是我們一直在努力的，在這努力過程當中，台南市非常感謝自來水公司及自來水協會伙伴的協助，才能夠讓台南市自來水普及率高達 99.88%，居全國第一，比台北市高。台南市追求健康城市，在生活環境品質之追求一直非常用心，所以各種指標在世界漸冒出頭，在世界得到很多讚美，例如推廣美食、傳統小吃，這是自古先人留下之重要文化遺產，鄰近國家韓國光是一個作者，就要向聯合國爭取，接著聲稱孔子也是該國移居的，表示韓國有相當企圖心，

對與錯，只要是有爭議，就會積極努力爭取，韓國民族性格有非常強烈企圖心，在世界努力爭取特色及地位，國人不應怠以輕心，所幸美國華爾街日報刊載，世界最好吃、最有特色粽子就在台灣台南市的再發茂。本人在 2005 年應邀至美國舊金山參加「世界環境日市長會議」，並與其簽署「世界環境預定書」，目標至 2030 年台南市與世界各國競賽達到「零廢氣城市」的目標，所謂「零廢氣」就是不用掩埋廠、不用焚化爐，人類使用過的物質都是可再循環利用、可再回收，包括水資源回收，這是人類目前目標，所以綠色城市指標就是這樣，例如有機、資源回收，目前台南市資源回收率已經達到 60%，台南市也是世界惟一全年實施反怠速城市，而且是 24 小時監控，這是列入聯合國重要指標，所以現在 WHO 對我們評價很高。2007 年台南市獲得健康市創新獎，自來水為世界指標，水的安全、質、量問題，剛剛廖理事長均有提到，我們仍有很大進步空間，事實沒錯，我們必須進一步思考一個問題，有水庫還有水災，這水庫是殘廢，它的排水道，安全機制，是它手、腳，不能說只有腦筋、只有內臟，應有手、腳，才能跑，水蓄太多時能排泄，這是水庫的整體功能，另外水價不是自來水、水協會及水利署問題，這是從總統以下所有人的問題，剛剛提到為什麼自來水不能漲價，當然不能漲價，大家怪政治，一提到漲價議員就反對，立委就反對，大家應思維，為什麼他們反對，有人支持，他們反對為什麼沒人站出來說水價不合理，從學理上分析成本，當然應合理漲價，否將陷入低價格惡性循環，無法反應成本，為什麼無法達到高價格，因為台灣 12 年來國民所得未提高，生活成本亦無法相對漲價，而且連續 12 年失業率不斷提高，台南市為降低生活成本，實施諸多措施，例如古蹟提供自來水生飲，讓至各古蹟及公園運動市民不用買水，為確保水質安全、乾淨，環保局 2 至 3 天就檢查一次，我們是這麼認真管理、精緻服務，所以台南市在國際指標上一一浮現，這不是用錢買的、做廣告來的，做廣告只有造就媒體的文化惡化，為搞錢做廣告，我們應誠心面對問題，虛心求改進，自來水公司在台灣不能說沒有貢獻，而是有重大貢獻，烏腳病之父，即使多厲害，如沒有自來水公司仍無法解決，用這樣與大家互相勉勵，台灣進步空間很大，台灣景氣會很好，但是或許真的應靜下來檢討，台南市與大家一起努力，感謝大支持協助，祝大家添丁發財，感謝大家，並祝大會成功。

(二)台南縣顏副縣長純左：

廖理事長、水利署楊署長、自來水公司六區處蔡經理、各位理監事及自來水公司各位代表，大家好！因為今天 9 時是台南縣議會總質詢，蘇煥智縣長無法來參加，今天很榮幸代表蘇煥智縣長，參與今日的盛會並向大家表示恭禧及感謝。尤其近幾年來台南縣工業區開發，如液晶專區、永康科技工業區…，感謝自來水公司的協助，工業

區才得以順利進行。另於莫拉克颱風期間，也感謝自來水公司的幫忙，才得以順利於最短期間內恢復供水，尤其南化鄉羌黃坑遭土石流掩埋，非常感謝自來水公司協助，提供員工宿舍安置災民。「水」在目前是非常重要的議題，台灣自來水的歷史係自 1885 年清朝巡撫劉銘傳開啓過濾、消毒、改善飲水之品質，在台灣雖人口數密集，但水質及水資源是較為欠缺，且當時人民烏腳病…均係水質不佳所引起，有鑑於此，水利專家八田與一興建烏山頭水庫解決農業及民生用水問題。

此次莫拉克颱風造成台南縣、市嚴重災情，為何台南擁有較多水庫，仍造成嚴重水災，代表水庫管理有待加強，水庫管理包括防洪、灌溉、蓄水、休閒、景觀、觀光…，什麼時候應扮演什麼角色，應予審慎思考。此次曾文水庫的洩洪，帶給台南縣非常大的傷害，我們應好好的思考，如水土的保持、水量的供應、水質的改善均是嚴肅課題。在水價方面，多年來水價未調整，漏水率又偏高，故水價無法維持水管汰換，據知我國漏水率高達 23%。我國水管汰換率偏低，日本 5% 美國 3.5%，我國僅 0.9%。在漏水率持續偏高的情形下，水量不足，水質有可能受地下水的影響而無法維持，水價未調整，民眾普遍認為用水便宜，並未實施節約用水，也有可能阻礙海水淡化的單價，故水價方面，應朝多方向思考。

最後，在此再次代表蘇縣長，感謝這幾年來水公司的協助與支持，使台南縣有更好的發展。

五、上級長官致詞：

(一)水利署楊署長偉甫致詞：

大會主席廖理事長、在座自來水事業、各位先進大好，我個人在上月 22 日才接下水利署重任，各位都知道水利署與自來水是一體兩面的，接下署長後，有幸在上月月底，追隨我們老長官廖理事長，參加亞太地區會，才發現到自來水協會在國內類似協會，是具有活力，非常好的協會，今天看到這麼多先進、長官非常高興，自來水公司在過去幾年之內，與我們水利署面臨到嚴重的水的問題，從去年到今年案例，去年的卡玫基、辛樂克颱風，今年莫拉克颱風，這些颱風雖然帶來豐沛雨量，可是我們自來水供應指數問題，在民國 90-93 年間仍出問題，可見我們台灣地區在雨水多的時候，與雨水少的時候，自來水供應都面臨許多挑戰，這個在全世界是一個少見案例，剛廖理事長提到台灣地區水量，在全界排名為第 18 個缺水國家，可是我們有豐沛雨量，卻還是缺水，所以自來水事業在台灣地區具有相當的關鍵性，對我們國家經濟穩定，國力成長具有影響力，所以我非常感謝自來水協會長期以來，在歷任理事長領導下配合政府政策，未來幾年台灣勢必面臨與過去類似情形，甚至更嚴峻的挑戰，以今年情形

來看，各位會發現莫拉克颱風後，出現一個警訊，就是中南部山區水土保持問題，經過這次颱風摧殘後，受到嚴重破壞，河川川流量今年比起往年，有降低情形，預期在明年上半年枯旱情形，或許會比往年更嚴重，所以今天在座各位台北自來事業處，自來水公司、水利署先進，在未來一年之內，我想很快的我們會面臨到缺水之新挑戰，過去 2 年內，大家看到的大部份都是水災問題，事實上水的問題，對於民生影響最大的還是缺水，缺水狀況除對民生影響外，對於我們經濟、大地、農作影響更大，所以自來水事業發展可以被定義為一個國家是否是達到先進國家或者開發國家指標，剛才廖理事長、許市長有提到台灣地區最近幾年在自來水事業之發展，有相當大進步，但在進步當中，我們仍須面臨許多挑戰，所以未來的日子，我們盼望與水產業有關先進，能互相鼓勵合作，才有辦法讓台灣地區自來水之供應、調度，安然渡過，目前全球氣候變遷，很多問題相繼產生，水利署必須加快腳步，與各位先進合作，把這些問題癥結點、困難點找出，逐一提出改善意見，按問題輕重緩急，作長遠計畫。必須作做出更好成績，才能穩定國內政經發展，過去所留下的好的建設，好的模式，未來水利署會承襲下來，而過去未面臨的新問題，會努力一一克服，希望各位先進未來能多給水利署建言，讓水署與各位共同努力，讓台灣未來在面臨全球氣候變遷時，能走出一條新的道路，國內適應全球氣候變遷的腳步事實上慢了些，經建會為解決國內全球氣候變遷產生的問題，曾經想要成立氣候變遷辦公室，不過這辦公室僅推動 3 年，現在由各部會自行處理，為解決這些問題，水利署馬上要成立內部諮詢或推動小組，未來會加入自來水事業代表，在未 2 年內，希望把目前亟需要解決的問題找出來，加快腳步爭取預算，這是水利署目前最重要施政方針，與未來努力方向，期待各位多給與協助，最後敬祝各位身體健康，大會圓滿成功。

六、籌備會主任委員致詞：(台灣自來水公司第六區管理處蔡經理茂麟)

大會主席廖理事長、各位長官、各位貴賓、各位會員及代表、自來水業界各位先進，大家好！

今天是第 42 屆自來水節慶祝大會暨第 16 屆第 4 次會員代表大會，本人謹代表六區處對各位撥冗蒞臨參會表達最誠摯的歡迎和感謝。

首先，簡單介紹本處服務轄區為八掌溪以南、二仁溪以北包含台南縣 31 鄉鎮市及台南市 6 個行政區，服務用戶數達 654,583 戶、供水人口數達 1,849,502 人、普及率高達 98.73%；在水質方面本處南化給水廠榮獲 96 年度環保署優質飲用水評選為優等，(今)98 年更通過 ISO14001 驗證，對提供大台南地區量足質優的之自來水深具信心。

自從 98 年 3 月間接獲自來水協會理監事通過委託辦理本次大會以來，除向歷屆主辦

單位二區處及北水處請益舉辦經驗外，亦動員全體員工，密集開會規劃，分組分工籌備。雖然期間歷經莫拉克風災重創，在災後諸多重建工作待辦之際，我們仍堅持使命必達之決心，戮力籌辦，希望本次慶祝大會能辦得盡善盡美，展現專業、團結、創新之自來水從業人員精神。

此外，為讓各位貴賓體驗台南古都之美，我們也精心規劃三條知性之旅路線，包含台南古蹟巡禮、奇美博物館參觀以及自然生態之旅。另為服務各位貴賓及會員，於報到處旁邊安排有台南市十大伴手禮及產品攤位的展示，請各位踴躍參觀。希望你們這趟府城之旅能夠感到盡興愉快，我們的服務也能夠帶給各位滿意；若有服務招待不周，或須改進之地方，敬請各位涵諒及不吝指教。

最後，特別向在座各位自來水從業人員長期以來對社會大眾所付出的貢獻，表示最崇高的敬意。在此，恭祝大會圓滿成功，大家身體健康，職場順利、闔家平安，謝謝大家。

七、表彰對自來水事業績優及重大貢獻人員、資深人員及論文獎：(以多媒體呈現介紹其學經歷及重大特殊事績)

(一)表彰自來水事業績優及重大貢獻獎：台灣自來水公司水質環保處吳處長美惠。

請廖理長宗盛頒獎。

(二)表彰基層工作人員重大貢獻獎：

1.台北自來水事業工程總隊工務所主任許芳山、台灣自來水公司第一區管理處工程師兼操作課課長彭南弘、台灣自來水公司第四區管理處沙鹿營運所主任劉宗松、台灣自來水公司第十二區管理處物料課課長李振文等 4 位。

請廖理長宗盛頒獎。

2.台灣自來水公司總管理處行政處李甫晟、台灣自來水公司第二區管理處勞安課課長黃阿月、台灣自來水公司第六區管理南化給水廠廠長盧烽銘、台灣自來水公司第十二區管理人事室黃麗明等 4 位。

請廖理長宗盛頒獎。

(三)表彰資深服務人員：

1.表彰服務年資滿 45 年資深人員，服務年資滿 45 年人員計有林智滿、劉宗松、黃廣德、陳雪秀、許進丁、郭松齡、彭瑤濤、徐培英等 8 位，請彭瑤濤、許進丁、徐培英、劉宗松等 4 位代表接受表揚，請自來水協會陳常務理事福田為我們頒獎。謝謝這 4 位前輩多年來對自來水工作的付出與貢獻。

2.表彰服務年資滿 40 年資深人員，服務年資滿 40 年人員有洪棋楠等 36 位，請李榮湧、

何世溪、宋金順、黃月嬌等 4 位代表接受表揚。請自來水協會黃常務理事慶四為我們頒獎。其餘未上台同仁亦請起立，讓我們一同為您鼓掌。

3.表彰服務年資滿 30 年資深人員，服務年資滿 30 年人員共有盧立進等 81 位，我們請曾榮貴、蔡茂麟、林燦惠、陳淇祥等 4 位代表接受表揚。請水協會胡常務理事南澤來為我們頒獎。其餘未上台同仁亦請起立，讓我們一同為您鼓掌。

4.表彰服務年資滿 20 年資深人員，服務年資滿 20 年人員共有王瑞德等 61 位，我們請蔡翠芳、林傳凱、楊水金、李姿瑩等 4 位代表上台受獎。請本次籌備委員會蔡主任委員茂麟來為我們頒獎。其餘未上台同仁亦請起立，讓我們一同為您鼓掌。

(四)頒發自來水研究論文獎：

1.論文題目：光催化分解臭氧消毒論文題目副產物-溴酸鹽(BrO_3^-) 之研究。推薦理由：研究內容與引用之解析模式正確，使論文研究結果極具學術價值，具充實性及可讀性，在實務上亦具有可參考性。

得獎人員—弘光科技大學黃文鑑、楊佳霖、施富翔、張家瑜等 4 員。

2.論文題目：淨水場淨水設備池頂加蓋暨附太陽光電設施規劃設計-以臺北公館淨水場為例。推薦理由：積極引進綠色能源應用，對池頂加蓋及太陽能蓋板設計及節能減碳效益均有完整討論與分析，實務上有應用價值，可做為低碳化設計淨水場示範案例。

得獎人員—臺北自來水事業處吳陽龍、王潔。

請水協會葉理事宣顯來為我們頒獎。

八、專題演講：(40 分鐘)

主講人：台南成功大學黃副校長煌輝。

講題：水價合理嗎？

(一)依據自來水法第 59 條：「自來水水價之訂定，應以水費收入抵償其所需成本，並獲取合理利潤。…前項合理利潤，應以投資之公平價值，並參酌當地通行利率、利潤訂定。」上述所稱投資報酬率訂為 5%~9%。

(二)台灣自來水公司用戶每年水費 2,891 元。以一戶 3 口，平均國民所得 15,000 美元 = 1,440,000 元。台灣每戶用水費佔所得約 0.2%，僅佔 0.2% 的收入即可滿足吃、喝、洗、刷!真便宜!

(三)95 年台灣地區工業用水 676.81 百萬立方公尺，合計用水費約 7,309,548,000 元。95 年台灣地區工業產值 13 兆 6487 億，工業區用水費佔產值約 0.54%。那麼少的水費產生那麼多產值，真便宜!

(四)根據台南科學園區 97 年度統計資料:97 年度用水量 41,872,113 度,水費 455,149,868 元。97 年度園區生產總額 547,500,000,000 元。台南科學園區水費佔生產總值之 0.083%,賺太多!水太便宜啦!

(五)水價為什麼不合理?

1.從國際觀點評析:

- ◆台灣每人每年可用之水量約 4,000 立方公尺。世界平均每人每年可用之水量約 33,000 立方公尺。
- ◆台灣可用水量少,水價又低,合理嗎?世界衛生組織指出,合理水價支出應佔家庭消費支出之 2%~4%。國內每戶每年水費只佔家庭消費之 0.5%~0.6%。台灣每人每年水費支出約佔國民所得 0.23%,要喝清潔健康的水,這樣的支出太少了吧!

2.從國內觀點評析:

- ◆台灣自來水公司係屬國營事業,而非公營事業機構。台電、中油、台肥、台糖、台鹽……其營業項目價格可隨需求調整,唯獨水價不調,原因何在?可能是主管官員腦筋秀逗!
- ◆政府常以「水為基本民生必需品」為主,暫緩水價調整,難道油、電、糖、鹽不是基本民生必需品嗎?真是欺人太甚!因為自來水公司員工都是傻瓜!
- ◆不論國民、家庭、工業區、高科技園區水價佔國民所得或生產值均在百分之 0.5 以下,縱使調高一倍水價,亦不痛不癢,比一個星期的油價調升還少!莫非老百姓、工廠老闆只會斤斤計較那一點點的水價調升?大概台灣的百姓、企業主的腦殼壞了吧!
- ◆政治人物一說到水價調升就怕會倒閣、立委選不上,其實電價調升、油價調升,能選上的人就上了,跟物價調升有那麼重要的關係嗎?大概政治人物的頭殼也壞了吧!

3.從自來水公司內部評析:

- ◆國營事業,無法自主經營,士氣低落,心情鬱卒。
- ◆水價無法反應供需,政府補貼、投資報酬率過低,員工得過且過!
- ◆水價低廉,國人不珍惜水資源,水質無法有效提升。
- ◆水公司財務不健全,雖不倒閉,但也無強有力的生機!
- ◆投資報酬率太低,無力全面汰換管線,漏水率偏高,浪費資源。
- ◆水費不調整,飲水、用水一樣,終難喝到更好的水!

參、第 16 屆第 4 次會員代表大會：

一、理事會工作報告（詳大會手冊書面資料）。

二、監事會工作報告（詳大會手冊書面資料）。

三、討論提案：

編號：第一號（會計） 提案人：理事長 廖宗盛

案由：為提報本會九十七年度歲入歲出決算書，敬請追認通過。

說明：1.本會九十七年度歲入歲出決算，業經本會第十六屆理、監事會第十次聯席會議決議通過。並經送請本會同屆監事會第三次會議審查通過復依規定先以 98.2.13（98）國水協會字第 000044 號函報內政部核備。

2.依照內政部訂頒「社會團體財務處理辦法」第十三條及本會章程第三十五條規定，請大會追認通過。

辦法：檢附本會九十七年度歲入歲出決算書一份，連同審查報告一份敬請追認通過。

審查意見：請參閱第 36 頁中華民國自來水協會九十七年度歲入歲出決算書審查意見報告。

決議：照審查意見通過

編號：第二號（會務） 提案人：理事長 廖宗盛

案由：為提報本會九十八年度事業計畫（工作綱要）草案，敬請討論通過。

說明：1.本會九十八年度事業計畫（工作綱要）草案，業經本會第十六屆理監事會第八次聯席會議審議通過。

2.依照本會章程第二十三條第四款規定應提會員代表大會通過實施。

辦法：檢附本會九十八年度事業計畫（工作綱要）草案一份，敬請通過以便實施。

審查意見：無

決議：照審查意見通過

編號：第三號（會計） 提案人：理事長 廖宗盛

案由：為提報本會九十八年度歲入歲出預算草案，敬請討論通過。

說明：1.本會九十九年度歲入歲出預算草案，業經本會第十六屆理監事會第十二次聯席會議審議通過。

2.依照本會章程第二十三條第四款規定應提會員代表大會通過實施。

辦法：檢附本會九十九年度歲入歲出預算草案一份，敬請通過以便實施。

審查意見：無

決議：照審查意見通過

四、臨時動議：無

肆、散會：中午 12 時

中華民國自來水協會第十六屆理、監事會第十三次聯席會議暨 第十六屆第四次會員代表大會預備會議紀錄

時間：民國 98 年 11 月 16 日（星期一）下午 4 時

地點：台灣自來水公司第六區管理處(台南市南門路 22 號) 三樓會議室

主 席：廖理事長宗盛

出席理事：廖宗盛 黃慶四 胡南澤 李公哲 王桑貴 吳振欽 林 岳 鄧志清 張明欽
楊水源 吳美惠 葉宜顯 謝啓男 王文賢 楊清和 林連茂 陳錦祥 王池田
孫新惠 黃進財 高文浩 陳曼莉 宋金順 蘇金龍 吳陽龍 陳宏濤

出席監事：李錦地 蔡茂麟 王炳鑫 齊景新 翁自保 施澍育

請假理事：郭瑞華 陳福田 賴文正 黃志彬 駱尙廉

請假監事：呂鴻光 謝堽煌

列席人員：許培中 劉家堯 王魯人 蔡麗嫻 李美娥 管惠嬋 周佑芷 謝雅婷

記 錄：王魯人

一、主席致詞：

本(98)年度中華民國第 42 屆自來水節慶祝大會、本會第 16 屆第 4 次會員代表大會暨第 26 屆自來水研究發表會，在蔡主任委員茂麟領導下的大會籌備會及工作團隊精心規劃，積極辦理下，大會各項籌備工作均已準備完竣，本屆大會亦承蒙產業界的熱心支持、贊助下，定可順利圓滿舉行。在此本人代表協會對各位籌辦大會之辛勞表達至誠感謝之意。現在我們按議程進行會議，請祕書長報告

二、報告事項：

(一)祕書長綜合報告：詳如議程書面資料(略)

結論：1.同意備查。

- 2.本會九十七年度會務績效經主管機關內政部評定為全國性甲等社團並獲頒獎獎勵，此為本會全體理、監事、工作同仁大家努力的成果，亦是本會全體會員之榮譽。未來尚須共同努力，再接再勵，以期本會業務日益茁壯發展。
- 3.明(17)日大會將邀請國立成功大學黃副校長煌輝專題演講「水價合理嗎？」。水價問題是自來水事業單位之經營甚為重要的一環，黃副校長定有精闢之分析，希望理、監事協助與會人員勿離開會場，共同來聆聽、探討、了解此一長期問題，俾大家一起努力來爭取水價合情、合理的調整。

4. 本會近期舉辦了兩項國際會議：

(1) 舉辦「第 6 屆台、美、日自來水設施耐震對策研討會」：

由本會與國家地震工程研究中心、國家災害防救科技中心於 2009 年 10 月 14 日至 16 日假台北市國家地震工程研究中心共同主辦之「第 6 屆台、美、日自來水設施耐震對策研討會」，有關自來水設施耐震之論文發表篇數計：美國 11 篇，日本 13 篇，我方規劃 9 篇計 33 篇。台、美、日三方並同意以「供水單位災後持續營運規劃與機制」為 discussion session 之主題。參與本研討會各國人士計 108 人。本次會議承蒙臺北自來水事業處、臺灣自來水公司、臺北翡翠水庫管理局、台灣世曦工程顧問公司、中興工程顧問公司亦共同贊助協辦，深表感謝。

(2) 「2009 年第三屆國際水協會亞太地區會議及展覽會」：

「2009 年第三屆國際水協會亞太地區會議及展覽會」於 2009 年 10 月 18 至 22 日假台北國際會議中心舉辦。榮蒙 蕭副總統代表 馬總統及我國政府親蒞大會開幕致詞，熱烈歡迎來自國內、外學者專家出席本次會議。

蕭副總統首先贊佩國際水協會（International Water Association，簡稱 IWA），以地球村的胸懷，將世界各國、各地水界組織起來，積極解決世界各地有關「水」的各項問題。繼之介紹台灣公共供水已有 120 年的歷史。

副總統進一步表示，這次大會的舉辦，對此刻台灣而言，更顯意義重大。前不久莫拉克及芭瑪颱風，造成台灣地區嚴重災情，明年政府也將投入近新台幣 800 億的治水經費，為健全水源保育與「永續發展」的理念來經營水資源事業。

副總統同時嘉許本會及台大環境工程研究所駱教授尙廉的努力爭取下，兩個單位在有限的人力、財力下，仍積極籌辦本次大型國際會議，以專業學術成就，有效提高台灣的國際能見度，予以肯定與鼓勵。

閉幕晚會於具我國建築特色之圓山飯店舉行，蒙行政院吳院長蒞會致詞，除感謝國內、外學者專家熱烈的前來參與會議外並嘉許本次會議舉辦的非常圓滿成功。IWA 會長 David Garman 亦致詞表示本次會議籌辦的非常週全、完美，可謂國際會議經典之作，表達深為感謝之意。

本次會議承蒙臺北市政府、高雄市政府、台北縣政府、臺北自來水事業處、臺灣自來水公司、臺北翡翠水庫管理局、各單位所提供的支持

與贊助一併表達至深謝忱。

5. 本會已依第十六屆理、監事會第十二次聯席會議國際事務委員會報告結論 3. 提撥一筆經費保留以為本會出席 2011 年於日本舉辦之第四屆亞太會議及 IWA 國際相關會議專款專用經費。
6. 本會器材檢驗業務收入為本會事業經費之主要來源，本會器材檢驗實驗室已取得 TAF 實驗室認證。檢驗人員亦取得(ISO/IEC 17025)品質管理訓練合格並派至全省各地駐廠檢驗。惟為提昇服務品質及面對未來市場之需求，檢驗業務須依照國際標準建立品質管理與品質保證制度，本會擬加強檢驗業務輔導計畫，以取得(ISO/IEC 17020)認證，並擴大檢驗項目認證。本會器材檢驗實驗室，目前係以租賃方式，若財務狀況允許，擬購屋或購地自建，俾使本會器材檢驗實驗業務能更穩定、健全的推展。

李監事會召集人致詞：

本次「2009 年第三屆國際水協會亞太地區會議及展覽會」籌辦的非常盛大、成功，本人代表監事會向理事會表達贊佩之意。

本會檢驗業務收入是否須按營業稅 5%繳納，目前尚在查核階段，本人願提供相關資料參酌。

(二)各種委員會工作報告：詳如大會手冊第 6-9 頁(略)

諮議委員會

國際事務委員會

技術研究委員會

管理研究委員會

財務委員會

編譯出版委員會

會務委員會

結論：各種委員會工作報告同意備查。

(三)會務工作報告：詳如議程書面資料(略)

結論：同意備查。

三、討論事項：

甲、第 16 屆理、監事會第 13 次聯席會議提案：

編號 第一號 類別 服務 提案人 秘書長 許培中

案由：擬加強本會檢驗人員相關檢驗業務輔導計畫，提請討論。

決議：1.通過。

2.所需經費併本(98)年度決算辦理

乙、第 16 屆第 4 次會員代表大會預備會議提案：

(一)案由：請審查本會第 16 屆第 4 次會員代表大會提案（案由、說明及辦法）請參閱第 16 屆第 4 次會員代表大會手冊提案計三案（各案內容自第 37 頁至 63 頁）

1.為提報本會九十七年度歲入、歲出決算書，敬請追認。

審查意見：擬照辦法提請大會討論追認通過後，陳報內政部核備。

2.為提報本會九十九年度事業計畫（工作綱要）草案，敬請討論。

審查意見：擬照辦法提請大會討論通過後，陳報內政部核備實施。

3.為提報本會九十九年度歲入、歲出預算草案，敬請討論。

審查意見：擬照辦法提請大會討論通過後，陳報內政部核備實施。

(二)案由：請推定第 42 屆自來水節慶祝大會對自來水事業發展有特殊重大貢獻人員及服務年資悠久頒獎人：

1.一級主管表彰案：陳常務理事福田

工程技術獎：吳美惠處長—臺灣自來水股份有限公司水質環保處。

2.基層工作人員表彰案：

A、工程技術獎：李監事會召集人錦地

(1)許芳山主任—臺北自來水事業處工程總隊。

(2)彭南弘工程師兼課長—臺灣自來水股份有限公司第一區管理處。

(3)劉宗松主任—臺灣自來水股份有限公司第四區管理處。

(4)李振文課長—臺灣自來水股份有限公司第十二區管理處。

B、營運獎：王常務理事桑貴

(1)李甫晟營運士—臺灣自來水股份有限公司總管理處。

(2)黃阿月管理師兼課長—臺灣自來水股份有限公司第二區管理處。

(3)盧烽銘工程師兼廠長—臺灣自來水股份有限公司第六區管理處。

(4)黃麗明營運士—臺灣自來水股份有限公司第十二區管理處。

3.服務年資悠久會員表彰案：

- (1)積滿 45 年者 8 人廖理事長宗盛
- (2)積滿 40 年者 36 人黃常務理事慶四
- (3)積滿 30 年者 81 人胡常務理事南澤
- (4)積滿 20 年者 61 人蔡主任委員茂麟

4.論文獎頒獎人：葉教授宣顯

- (1)光催化分臭氧消毒副產物-溴酸鹽 (BrO₃⁻) 之研究-黃文鑑、楊佳霖 施富翔、張家瑜 (弘光科技大學)
- (2)淨水場淨水設備池頂加蓋暨附太陽光電設施規劃設計-以臺北公館淨水場為例--吳陽龍、王潔圭 (台北自來水事業處)

(三)案由：請推定本會第 16 屆第 4 次會員代表大會理、監事會工作報告、大會提案討論及臨時動議主持人、報告人：

- 1.理事會工作報告主持人：李監事會召集人錦地
報告人：許祕書長培中
- 2.監事會工作報告主持人：廖理事長宗盛
報告人：王常務監事炳鑫
- 3.大會提案討論及臨時動議主持人：廖理事長宗盛

四、臨時動議：無

五、散會：下午 5 時 10 分