

自來水會刊第 38 卷第 3 期(151)目錄



實務研究

由風險管理看供水系統備援規劃與緊急調度實務……………林哲生…………… 1

本期專題

水質處理

台水公司淨水場鋁含量控制策略探討……………
……………李貞慧、洪世政、游育晟、劉彥均、陳文祥、唐俊成…………… 9

北水處供水塑化劑含量調查與健康風險評估……………薛志宏、鍾佳宏…………… 21

淨水污泥再利用於混凝土之研究……………李育輯、駱尚廉…………… 33

淨水污泥產製混凝土之可行性研究……………陳豪吉、洪世政、陳威豪…………… 41

一般論述

合理自來水費率之探討……………陳佩君、吳振榮、楊晴雯…………… 54

版梁柱式矩形水池設計之探討（續）……………曾浩雄…………… 65

建置即時修漏進度追蹤系統提升修漏服務品質之探討……………黃郁婷…………… 76

法規櫥窗

自來水工程工期法律爭議之探討……………謝彥安、吳昌銘…………… 82

協會與你

歡迎投稿 108年「每期專題」…………… 32

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 81

勘誤聲明…………… 64

封面照片：台灣自來水公司提供

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、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天等文稿。
- 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。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「自來水廠(所)的一天」為提供自來水基層廠(所)的工作現況，增進社會各界對自來水服務層面的認識。「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，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。
- 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。機關出版品：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 aael@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：郭俊銘

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

葉陳萼

委員

陳明州、李嘉榮、康世芳、王傳政、武經文、

駱尚廉、范煥英、洪世政、李丁來

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：李丁來

執行主編：林正隆

編審委員

甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、

梁德明

執行編輯：陳品如

電話：(04)22244191 轉 266

行政助理：古蓁苓

印刷：松耀印刷企業有限公司

地址：台中市北區國豐街 129 號

電話：(04)22386769

由風險管理看供水系統備援規劃與緊急調度實務

文/林哲生

摘要

風險管理 (risk management) 是一個管理過程，包括對風險的定義、測量、評估和發展因應風險的策略，主要目的是將可避免的風險、成本及損失極小化。

潔淨且普遍可及的水是人類生活的基本需求與權力，臺灣降雨雖為世界均量的 3 倍，但人均分配水量不及世界 1/5，導致可運用水量不多，名列全世界前 18 個缺水國家，且臺灣面臨各種特殊氣候與天然災害(地震、颱風等)，以上災害事件發生時，都會對各類公共基礎建設造成損害，進而威脅著自來水供水系統的安全與穩定。

2016 年 2 月 6 日上午 3 點 57 分，臺灣南部發生繼 921 大地震後最嚴重的地震，其中以台南市新化區的 7 級震度為最大，強震除造成建物與道路毀損外，也造成台灣自來水公司部分管線設備受損，進而影響約 40 萬戶正常用水。缺水除將造成民眾生活不便外，更可能導致疫病傳染，影響公共衛生與國家整體運作，是以如何確保持續提供質優量足的自來水，至關重要。

針對供水系統之風險管理，除提升系統自身對於災害來臨時之耐受能力外，首要關鍵應在於「備援供水系統」之建置，而系統的備援應包括「場站備援」以及「管網備援」二個面向。另外，當真正面臨災害發生時，備援系統能否發揮效能，則有賴於平日各項檢點維護作業以及標準作業流程之訂定與

落實。

本文分別以新北市新店與臺北市木柵地區，以及新北市中永和地區之供水系統，說明「場站備援」與「管網備援」，同時以實際案例說明備援系統之間緊急調度實務與應注意事項，提供相關從業人員執行業務時運用、參考。

關鍵詞：供水系統備援、風險管理

一、前言

水為生命之泉源，為生物一日不可或缺之物質，原水經過處理後之潔淨自來水更為民眾生活所必需，而自來水必需透過諸多設施及設備，如輸水幹線、配水池、加壓站、配水管以及用戶給水管等，方可將輸送至家戶，供民眾使用(如圖 1)，而在輸送過程中，若前述設施、設備發生異常狀況，例如：停電導致加壓站抽水機無法運轉，抑或是輸配水管線破漏，必須關閉相關閥類進行停水搶修等，都將導致用戶無水可用。

停水，除使民眾生活不便外，較長時間的停水，更恐有傳染疫病與公共衛生之危，進而衝擊國家整體效能，是以，如何確保自來水供水系統能夠正常運作，至關重要。而當不可預見之突發災害事件發生，導致部分供水設施設備無法正常運作時，如何透過系統之間的備援規畫以及緊急供水調度，讓受災害導致停水影響的範圍以及時間能夠盡量縮小、縮短，實屬重要。

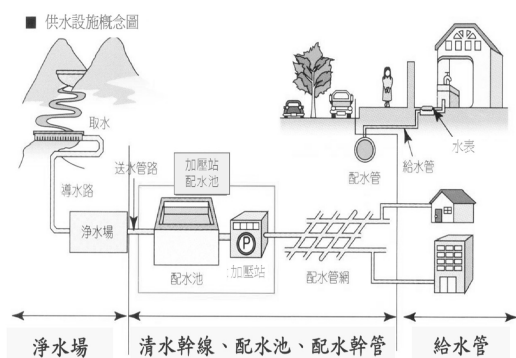


圖 1 供水系統示意圖

各類突發事件(地震、停電..等)無法避免，而為降低災害來臨時對正常供水的影響，除了強化各類設施設備本身耐震抗災的能力與強度外，建立「備援系統」至關重要，透過備援系統之建立，將可大幅提升整體供水系統面對突發事件之應變能力，從而達到風險管理的目的。

就規劃建立備援供水系統而言，應考量的面向及層次繁多，諸如：加壓站內抽水機的備援，緊急發電機的配置，重力旁通與加壓供水之切換連動...等，但是如果以整個供水分區系統備援的角度來看，「場站備援」與「管網備援」即屬二個最主要需要考量的面向，而透過場站與管網的備援，當發生單一場站或局部管網無法正常運作時，可透過備援系統緊急切換，進而將損害降低。

以下即分別以「新北市新店與臺北市木柵地區」以及「新北市中永和地區」之供水系統，來說明「場站備援」與「管網備援」，其後，並以發生在民國 106 年 8 月 15 日全台發生無預警大規模停電事件時，北水處所執行之供水系統緊急調度措施，來瞭解備援系統之間的調度運用，供相關從業人員參考、採用。

二、供水系統備援規劃

(一)「新北市新店與臺北市木柵地區」：

新北市新店地區位處臺北市的南側，屬於臺北都會區內圈的衛星城市之一，其境內大多屬丘陵地形，新店境內有碧潭風景區，為北臺灣著名觀光景點之一，而新店近年有數座大型造鎮社區進行開發，當地已成大臺北南側郊區主要的新興住宅供給地區，自來水需求量也相對增加。

而臺北市木柵地區位處於臺北市文山區的東半部，木柵地區有諸多聞名全台之休憩景點，其中貓空就是位於木柵地區的著名茶區，在貓空環山公路上的休閒茶坊，至少有五、六十家，是民眾休憩的熱門景點。而佔地面積逾 180 公頃的台北市立動物園，也是親子同樂親近大自然的重要去處，其他諸如貓空纜車、指南宮、仙跡岩攀爬自然步道等等，都是木柵地區旅遊的著名景點，每到假日均湧現眾多人潮，提供質優量足的自來水，充分滿足市民與旅人之需，即為北水處重要工作。

新北市新店與臺北市木柵地區，目前每日需水量約 16 萬 CMD，北水處針對此一地區，原係由中和加壓站(新北市中和區秀峰街底)，以 2 支口徑 1000mm 輸水幹管(中和新店線)跨越新店溪，向東側供應新店與木柵地區用戶用水，此一方式雖在供應水壓與水量方面均為充沛，但是，僅由單一加壓站供水的方式，亦隱藏應變能力不足之風險。

北水處後於新店安坑地區，建置安華加壓站，並由安華加壓站埋設一支口徑 1500mm 輸水幹管，穿過新店溪向北進入新



店地區，該管除在民權路分管與既有管網連結外，並沿著新店溪右岸，向北延伸在秀朗橋新店端，與中和新店線互相連接，達到二站聯合供水，彼此備援的目標。此一規劃方式，即為「場站備援」的具體作法(如圖 2)。

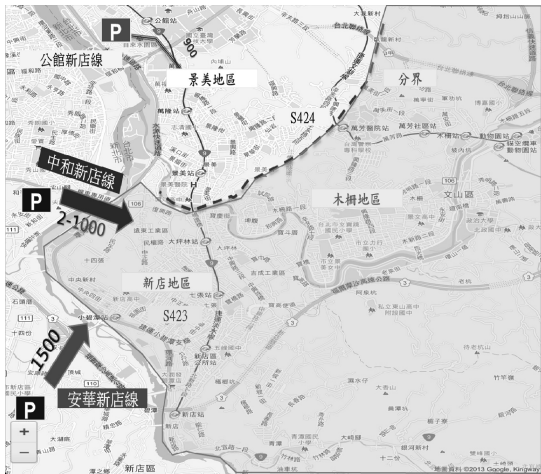


圖 2 「場站備援」-新店&木柵

(二)「新北市中永和地區」:

中和區與永和區均為新北市下轄的市轄區之一，其中，中和區位於臺北市的西南方，東北與永和區交界；西北與板橋區接壤；北隔新店溪與臺北市萬華區相望，西與土城區相鄰；面積為 20.294 平方公里；永和區則是北隔新店溪與臺北市的中正區、萬華區、大安區、文山區相鄰。

中和區人口密集，總人口數多達 41.3 萬人，為臺灣直轄市中人口數第四多的市轄區，人口密度高達每平方公里 2.05 萬人；永和區境內居住大量往來臺北市區的通勤人口，區域型態以住商混合為主，永和區雖為雙北面積最小的行政區，人口密度卻高達每平方公里 3.9 萬人以上，現為台灣人口密度最高的鄉鎮市區。中和區與永和區關係密切，常合稱為雙和地區。

中永和地區，目前平均每日需水量約達 22 萬 CMD，其供水係由中和加壓站以 1 支口徑 1500mm 輸水管線(中和線)主要沿景平路供應轄區用戶用水(詳圖 3)。為降低中永和地區供水風險，北水處遂由清二幹線公館支線(口徑:2400mm)進行分管，經由附掛於福和橋口徑 1000mm 之輸水幹管，向永和端供水，另外，亦於清一幹線永福水管橋跨橋前端，分管與永和側既有配水管網互相連接，使得中永和地區除了經由中和加壓站中和線供水之外，另外多了二處備援管線，如遇緊急狀況時，即可增量支援中永和地區用水，大幅提升供水穩定性，此一作法，即為「管網備援」。

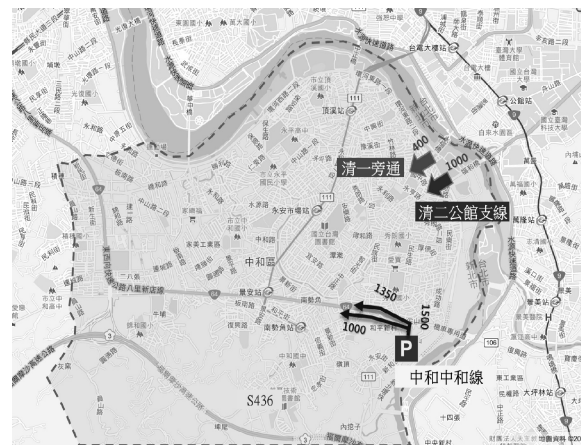


圖 3 「管網備援」-中永和地區

以上，透過二個供水區域之供水設施與設備，初步說明了整體供水系統備援的概念與作法，接著則以在 2017 年 8 月 15 日所發生的全臺無預警大停電事件中，北水處針對二處遭停電事故波及，無法正常出水的加壓站，所進行的緊急供水調配為例，實際說明系統備援在供水風險管理上所呈現之具體效益。

三、供水緊急調度實務

2017 年 8 月 15 日，中油公司對台電大潭發電廠的天然氣供應管線意外停止運作，大潭發電廠 6 部機組全部跳停，導致全臺電力備轉容量不足，自 16 時 51 分起，各地陸續發生大規模無預警停電事件，而北水處之「民生加壓站」以及「長興淨水場」亦受波及。

事件發生時，北水處監控中心立即發出緊報，相關人員除依循標準作業程序進行事件通報外，亦立即採取相關供水系統備援切換作業，以下，即就事件發生當時，分別針對「民生加壓站南港線」，以及「長興淨水場」所執行之相關緊急應變調度進行說明。

(一)「民生加壓站南港線」：

「民生加壓站南港線」係由民生配水池加壓站，以水池加壓方式經由埋設於基隆河右岸之口徑 1500mm 輸水幹管供應松山路以東之南港地區用戶用水(如圖 4)，而民生南港線(1500mm)與松山內湖線-過橋段(口徑 1000mm) 在民權大橋前相互連通，連通處並設有口徑 1200mm 電動蝶閥(代號:M163)，常時，此閥關閉，以分隔民生南港線與松山內湖線(如圖 6)。

當停電事件發生時，民生加壓站因停電抽水機瞬間停止運轉，導致無法加壓出水之情形(詳如圖 5)，北水處監控中心隨即透過遠端遙控方式，開啟電動連通閥(M163)，改由松山加壓站內湖線-過橋段加壓出水，來支援南港地區用水(如圖 6、圖 7)，而由圖 7 中可以看出，隨著 M163 電動閥開度的增加，松

山內湖線-過橋段實際供應至內湖地區的流量對應下降，所減少之流量即透過連通閥，流入民生南港線，供應南港地區用水。



圖 4 民生南港線供水範圍

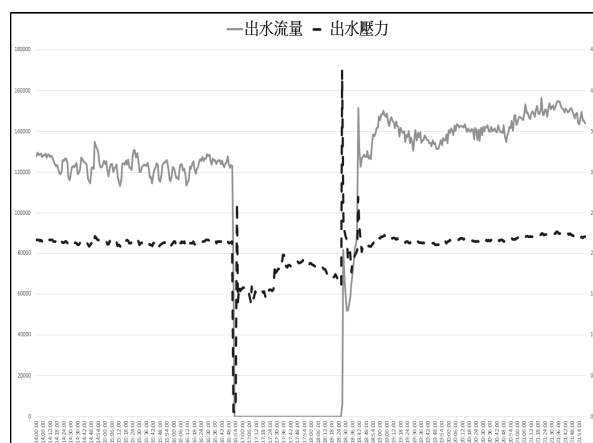


圖 5 民生南港線出水壓&量



圖 6 由松山內湖線進行支援

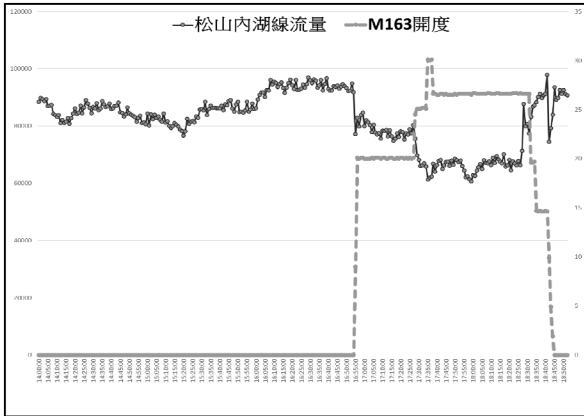


圖 7 連通閥開度與流量圖

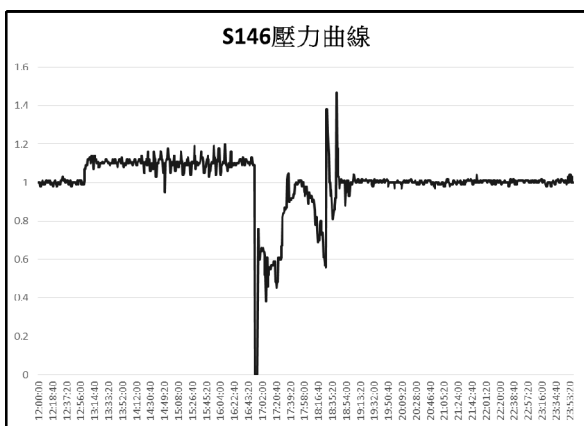


圖 8 S146 壓力曲線

透過前述緊急調度，在停電期間，南港地區(松山路以東)整體供水壓力雖較常時為低，惟仍能維持在 $0.8\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上(如圖 8)，尚可滿足轄區內用戶基本用水需求，整個停電過程中，僅有零星用戶來電反映有無水或水壓不足情形。

(二)「長興淨水場」：

長興淨水場係透過口徑 2200mm 輸水幹管加壓出水後，主要經由復興南路以及基隆路供應信義區、大安區、松山區等地區用水，如圖 9，而針對此一供水範圍，北水處另設有信義支線可供備援，此外，長興淨水場設在復興南路上的輸水幹管，也經由埋設於和平東路上口徑 700mm 的輸水管與公館

淨水場市區線(新生南路，口徑 1200mm)互相連通，彼此備援，另外，長興淨水場本場之 2200mm 出水管亦與清二幹線長興支線相連。常時，當長興淨水場正常加壓出水時，因加壓出水壓力高於清二幹線長興支線的重力水壓，所以，長興支線的清水並無法向市區供應，但是，當長興淨水處抽水機無法正常以加壓方式出水時，清二幹線長興支線的重力水流，即可經由連通閥(編號:M101)流入長興出水管，以重力出水方式供應市區用水。

綜上，針對長興淨水場之供水轄區，在整體管網系統的實際配置上，主要有前述 3 個備援管線，如圖 10。

8 月 15 日臺電停電時，長興淨水場抽水機停機，造成出水量瞬間下降為 0 的情況(如圖 11)，水池無法加壓出水，清二長興支線隨即透過連通閥(M101)，補水進入長興口徑 2200mm 出水管進行支援(詳附圖 12)，而長興淨水場為因應臺電停電，依緊急應變作業程序，約於當日 17:15 啟動緊急發電機恢復抽水機加壓出水，出水後，清二長興支線重力出水量即隨之下降，如圖 12 所示，惟改由緊急發電機供電過程中，因加壓出水壓力未能達到以市電供應抽水機之出水壓力，故長興支線仍持續挹注整體出水量。

其次，如前所述，連接清一、清二幹線之信義支線(口徑 2400mm)，在信義路與敦化北路口，另設有口徑 1000mm 之輸水管，分別在光復北路以及基隆路，與由長興加壓出水之 600mm 以及 1200mm 出水管相互連接，故當長興淨水場無法正常加壓出水時，即可透過信義支線進行支援。

圖 13 是 8 月 15 日停電期間，信義支線出水量與出水壓之歷時曲線，由圖中可以清楚看出，在停電瞬間，以及長興淨水場啟動緊急發電機後，信義支線整體支援水壓水量的變化。

前述信義支線與管網 2 個連接點，均設有可遠端控制之電動蝶閥，常時，控制在小開度(約 5~10 度)，保持水流暢通，避免滯留以確保水質新鮮，此次停電事件中，監控中心並未再行增開連通閥，在常時開度下，信義支線在停電瞬間，即增加逾 15,000cmd 的出水量，支援管網用水。

另外，長興場設在復興南路上的輸水幹管，也經由和平東路上口徑 700mm 的輸水管與公館淨水場市區線(新生南路，口徑 1200mm)互相連通，彼此備援，故在停電導致長興抽水機無法運轉出水的瞬間，公館市區線之出水量立即增加，補充大安區用戶用水所需，如圖 14。

而由圖 14，公館市區線出水量與出水壓之歷時曲線中看出，停電瞬間，出水量跳升，出水壓瞬降後，出水壓力又隨即抬升，此一現象係因公館市區線抽水機之出水控制模式，係採遠端回授變頻控制，故當出水壓力降低，導致遠端回授點(PID)之水壓下降時，變頻器隨即自動調整提升運轉頻率，增加抽水機出水壓力，以穩定管網水壓。

透過前述緊急支援，在停電期間，長興淨水場供水區域內整體壓力雖較常時為低，惟各監視點之壓力均能維持常時壓力之 80% 以上(如圖 15)，尚可滿足轄區內用戶基本用水需求，過程中僅有零星用戶來電反映有無水或水壓不足情形。

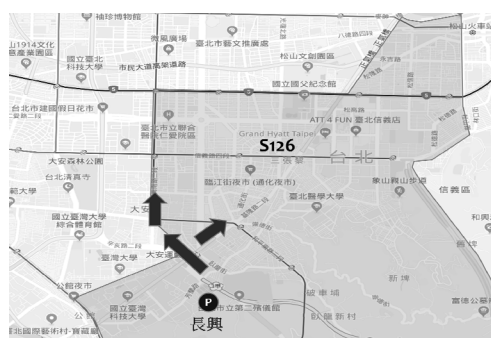


圖 9 長興淨水場供水範圍



圖 10 長興供水範圍及支援調度

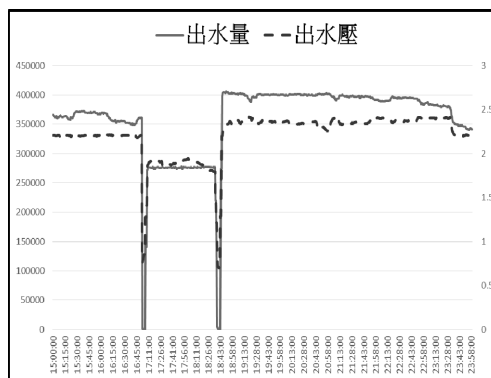


圖 11 長興淨水場出水量與壓力圖

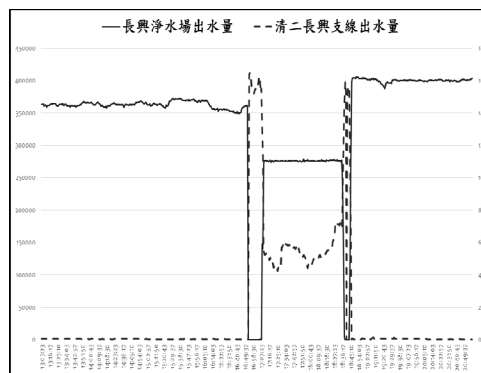


圖 12 清二長興支線出水量變化圖

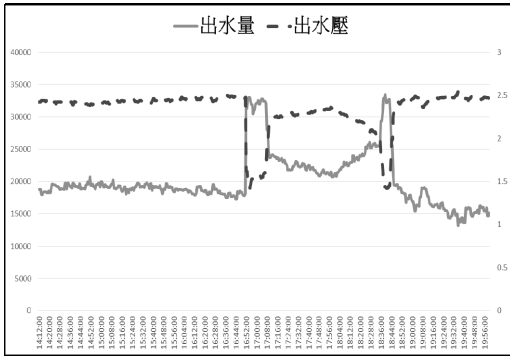


圖 13 信義支線出水壓力與流量圖

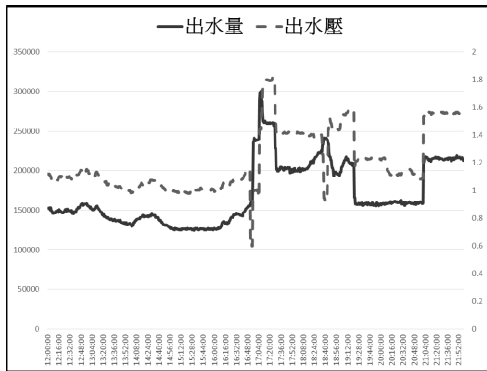


圖 14 公館市區線出水量與壓力圖

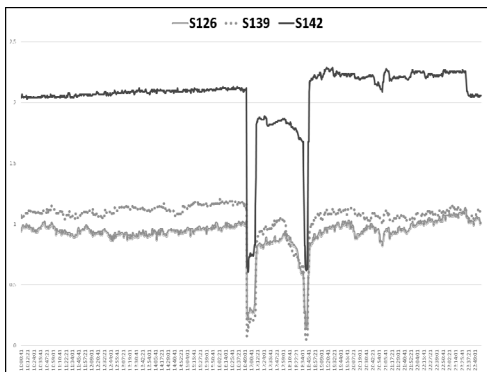


圖 15 長興供水轄區監視點壓力圖

四、風險管理

常言道：「勿恃敵之不來，恃吾有以待之」，事前充分準備，就是面對不可預期的危機最好的管理。而由此次北水處面對全臺大停電之處置經驗得知，「供水系統備援」以及「設施設備可靠度」與「緊急事件標準作業程序」均為關鍵要因。

「供水系統備援」包括「場站備援」以及「管網備援」，815 全臺大停電時，南港地區(松山路以東)即透過「松山加壓站」與「民生加壓站」之切換，得以確保用戶基本用水需求，此即為「場站備援」之效，當單一場站發生無法出水之突發事件時，可立即由備援場站增量供應，大幅降低供水風險。

另外，除了「場站備援」外，「管網備援」亦需併同考量，815 全臺大停電時，「信義支線」以及「長興支線」對長興供水轄區內用水穩定，都提供了極佳貢獻

而相關設施與設備在突發事件發生時，能否確實發揮預期功效，則有賴於平時各項檢點維護作業是否落實。北水處針對場站內各類系統、設備，均訂有標準檢驗流程與規定(如圖 16)，各項檢點作業由專人依期執行，逐級陳核，上級單位並不定期進行抽查，以確保檢驗作業之落實。

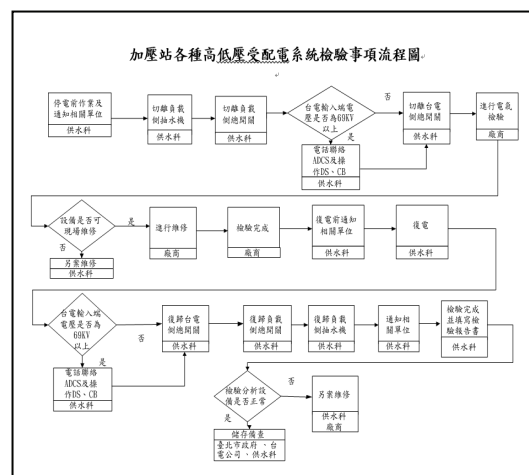


圖 16 設備檢點

另外，針對可能發生之突發狀況，制定「緊急事件之標準作業程序(SOP)」亦屬重要(如圖 17)，透過 SOP 的制定，輔以對相關操作人員之教育訓練與模擬演練，都可讓各相

台水公司淨水場鋁含量控制策略探討

文/李貞慧、洪世政、游育晟、劉彥均、陳文祥、唐俊成

摘要

行政院環境保護署發布之「飲用水水質標準」在 2019 年 7 月已將「鋁」檢項管制上限限縮至 0.2 毫克/公升。為符合此一標準，台水公司除先設定內控值為 0.16 毫克/公升外，並進行改善。經統計，清水鋁含量超出台水公司內控值的淨水場數已由 2014 年的 93 場減少至 2017 年的 33 場。

為進一步改善淨水場清水鋁含量，台水公司擬定淨水場鋁含量改善行動方案，先成立「水質異常處理小組」及「淨水場鋁含量改善技術輔導小組」，接著進行「淨水場資料蒐集」、「清水鋁減策略評估」、「淨水場水質試驗評估」、「改善策略選定」、「淨水場實場測試」及「清水鋁減量效果評估」等淨水場清水鋁含量改善標準作業程序以決定最適合改善策略。

一、前言

行政院環保署於 2014 年 1 月修正的「飲用水水質標準」，已增列「鋁」檢項並將其歸類為影響適飲性標準，且逐年限縮管制上限。根據「飲用水水質標準」，2019 年 7 月將施行 0.2 mg/L 的管制標準。

台灣自來水股份有限公司(以下簡稱台水公司)為因應鋁標準之增(修)定，於 2009~2010 年委託財團法人成大研究發展基金會辦理「水公司各淨水場清、配水含鋁量分析調查及最適化處理之研究」，再於

2013~2014 年委託嘉南藥理大學辦理「淨水場清水鋁含量改善對策」，此期間各區管理處亦紛紛針對清水鋁之議題，辦理自行研究，提出各項改善方案，期使清水中鋁含量符合飲用水水質標準。

台水公司轄屬之淨水場，自「鋁」之飲用水水質標準實施以來，依據各研究建議之改善方案實場施行至今，部分淨水場仍有尚未符合 2019 年 7 月標準之虞，希望透過本次研究，尋求改善的方法。

二、研究方法

本研究分四階段進行，首先藉由水質檢驗資訊管理系統及水質預警系統蒐集淨水場之水質資料，同時也蒐集現場監測記錄、設計資料(淨水程序、單元設計、設施平面圖說等)、操作維護資料(各項操作及維護管理紀錄等)及淨水場運作情形等，對已實施清水鋁含量改善之淨水場進行調查，蒐集改善方法、改善結果，歸納不同方式之改善結果及衍生問題之因應對策。

第二階段係根據第一階段之歸納分析不同的改善策略並針對尚有超出台水公司自訂內控標準值等不穩定場所進行實場訪談工作。藉由多方討論與意見交換，對於可能造成清水鋁含量超出台水公司自訂內控標準值的原因提出輔導建議，進行多面向之評估及檢討，探討鋁含量超出台水公司自訂內控標準值之原因。

第三階段則篩選清水鋁含量超出台水公司自訂內控標準值(0.16 mg/L)之淨水場，進行實場改善評估。針對該場做全流程分析，檢視不同型態鋁含量之分佈情形，分析結果做出改善建議，並追蹤改善進度，於改善後驗證改善結果。

第四階段再綜整各種型態之淨水場、各種水質狀況及各種有效之改善方式，訂定台水公司淨水場清水鋁含量改善行動方案。

三、結果與討論

(一)歷年資料統計分析

本研究以 2011 年為起始，篩選台水公司淨水場歷年檢驗資料，以 2014 年 7 月 1 日環保署開始管制清水鋁含量標準為區隔，希望了解標準實施前 2011 年 1 月至 2014 年 7 月、標準實施後 2014 年 8 月至 2018 年 4 月及 2017 年 1 月至 2018 年 4 月各階段場所的改善程度。

經統計，2011 年 1 月至 2014 年 7 月曾有超出台水公司自訂內控標準值(0.16mg/L)紀錄之淨水場共有 93 場，其中第一區處 12 場，第二區處 6 場，第三區處 10 場，第四區處 17 場，第五區處 20 場，第六區處 7 場，第七區處 12 場，第九區處 2 場，第十區處 6 場，第十二區處 1 場。針對此 93 淨水場發送書面調查，書面調查以現況回報為主，淨水場基本資料包含清水鋁含量歷史資料及現況。

為了解淨水場鋁含量的改善是否有效，以近一年內超出台水公司自訂內控標準值次數區分：0 次稱為「穩定符合標準」；1 次稱為「呈現動態不穩定」；2 次以上稱為「偶

有超出台水公司自訂內控標準值之虞」，並請廠所填報改善對策及執行控制期間遭遇之困難，以期了解各淨水場目前對於清水鋁含量之管控狀況，並從中選出訪談目標。

由統計可見，2014 年 8 月至 2018 年 4 月較 2011 年 1 月至 2014 年 7 月之總場數已降低(93 場降至 88 場)，以 2017 年 1 月至 2018 年 4 月來看則降幅更顯著(僅餘 33 場)，以區處區分，則以第二區處、第五區處、第六區處改善成效較佳。

(二)書面調查結果

本次書面調查共發出 93 場，回收 93 場，依據規模區分為出水量 1,000 CMD 以下 12 場，出水量 1,000 至 5,000 CMD 有 23 場，出水量 5,000 至 20,000 CMD 有 23 場，出水量 20,000 CMD 以上有 35 場；若依水源屬性區分，地面水有 69 場，地下水有 20 場(超出內控原因多為使用地面水源淨水場支援供水)，地面及地下水混合水源有 4 場。

1.清水鋁偏高可能原因分析

根據回報資料，淨水場自行分析清水鋁偏高可能原因，如圖 1，最多為混凝劑過量加藥及原水 pH 值偏高 (34 場)，其次為原水含鋁量偏高 (31 場) 再次為過濾效果差 (26 場)、沉澱效果差 (18 場)。

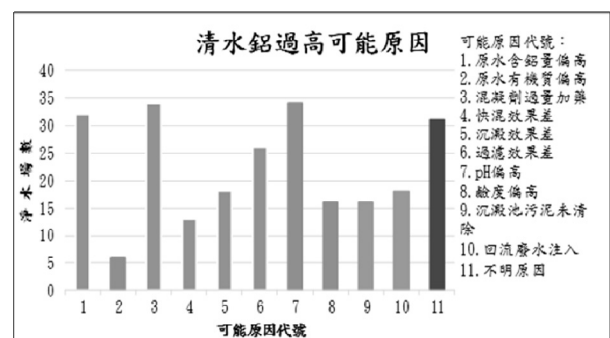


圖 1 清水鋁偏高可能原因

2.改善對策分析

針對 2011 年 1 月至 2014 年 7 月超出台水公司自訂內控標準值的 93 場淨水場進行改善策略分析：主要改善策略以搭配使用不含鋁鹽混凝劑的淨水場計 34 場最多，其中單一改用氯化鐵的淨水場計 23 場，採用雙加藥系統計 11 場，其次為最適混凝條件 29 場，再次為提高濁度去除效果 25 場最多，最少採用的策略為降低 pH 值 5 場，可能原因除考慮民眾觀感，同仁對使用濃硫酸的添加普遍仍有恐懼心理，且有工業安全上的疑慮亦為主要原因。

(三)改善結果追蹤

各區處經過數年的努力，清水鋁含量是否皆已改善完成是本次研究納入 PDCA 之“C” (check)的成效確認，2017 年 1 月至 2018 年 4 月間清水鋁含量小於 0.1 mg/L 有 35 場，0.1 至 0.16 mg/L 有 25 場，大於 0.16 mg/L 則有 33 場。

此外，統計改善完成之淨水場超內控原因及採行之改善策略，其中超內控原因屬原水含鋁量偏高約佔 20.3%，採行的改善策略以提高濁度去除效率(25.0%)及搭配使用不含鋁鹽混凝劑(35.0%)為主。超內控原因屬混凝劑過量加藥約佔 29.3%，採行的改善策略以最適化混凝條件(58.8%)及搭配使用不含鋁鹽混凝劑(47.1%)為主。超內控原因屬 pH 值偏高約佔 24.6%，採行的改善策略以搭配使用不含鋁鹽混凝劑(66.7%)為主。

經過長達八年的列管追蹤改善，台水公司曾經受列管清水鋁含量的淨水場，由原本十個區處有超過台水公司自訂內控標準值之淨水場，最後僅剩四個區處仍有淨水場呈現動態不穩定之情形，其中三個區處淨水場

偶有超過台水公司自訂內控標準值之虞。

從改善策略來看，以第二區處(原水 pH 值及鹼度低，以顆粒鋁為主)提高濁度去除效果及搭配最適混凝條件、設備改善，第五區處、第六區處(原水 pH 值及鹼度高，溶解鋁高)搭配使用不含鋁鹽混凝劑具顯著效果。而第一區處、第三區處、第四區處、第七區處(原水濁度變化大、pH 值不穩定)較常採用最適混凝條件或提高濁度去除效果，可能採用策略及操作方式仍須調整，至今尚未完全解決鋁含量的問題。

(四)淨水場鋁含量控制改善檢討-現場訪談

依據書面調查結果，執行改善後，統計 2017 年 1 月至 2018 年 4 月清水鋁含量，發現一、三、四、七區處仍有超出台水自訂內控標準值之虞之淨水場，再從中挑選其中具代表性之幾座進行訪談

四、淨水場清水鋁含量改善行動方案

(一)成立「水質異常處理小組」及「淨水場清水鋁含量改善技術輔導小組」

依據「台灣自來水股份有限公司水質預警事件作業要點」規定，任一水質檢項超出水質標準或「影響健康」及「可能影響健康」檢項超出內控值時，即應由各區處秘書以上擔任小組召集人，小組成員應包含水質課、操作課、工務課及廠所等，並於會議需提出「預估改善期限」及解決方案結論，俾利建立稽核作業，清水鋁檢項雖非屬「影響健康」及「可能影響健康」項目，惟近年已成為民眾關心之水質議題，故建議比照「影響健康」及「可能影響健康」項目辦理。

為更進一步協助各區管理處辦理清水鋁含量改善，建議由總管理處(供水處)邀請各區處實際辦理淨水場清水鋁含量改善，具

有實務經驗與熱忱同仁及外部專家學者組成「淨水場清水鋁含量改善技術輔導小組」，提供各列管淨水場技術諮詢並協助各區處辦理淨水場清水鋁含量改善工作。

(二)淨水場清水鋁含量改善標準作業程序

淨水場清水鋁含量改善標準作業程序如圖 2，各流程說明如下：

- 1.淨水場資料蒐集：進行淨水場詳實的調查，除蒐集相關原水水質基本資料外，並應檢討淨水、廢水處理設備及操作程序缺失、混沉與過濾效能是否符合原設計要求後，依清水鋁含量超出內控原因進行初步分類。
- 2.清水鋁減量策略評估：依上開超出內控原因分類結果，考量可行性、操作性及經濟性後，進行減量策略評估。
- 3.淨水場水質試驗評估：依上一程序選定之減量策略辦理杯瓶試驗，了解鋁減量效果是否可符合需求。
- 4.改善策略選定：依實驗室杯瓶試驗結果，參考淨水場清水鋁含量改善策略決策流程圖選定改善策略。
- 5.淨水場實場測試：進入實場測試，蒐集連續操作之監測數據，以為後續改善策略評估之參考。
- 6.清水鋁減量效果評估及改善策略定案：最後再由淨水場的測試結果，分析清水鋁含量改善成效，以決定最適合的改善策略。

以下分別敘述每一階段之建議工作執行項目：

- (1)基本資料蒐集及各淨水單元之鋁含量及物種分析

淨水場基本資料的收集及各處理單元殘餘鋁含量現況，為改善進行的第一步，調

查內容應涵蓋：

- a.原水水質基本資料(濁度、pH 值、鹼度)。
- b.原水與各單元(包含反洗廢水)殘餘鋁水質資料，須分類成總鋁、溶解鋁及顆粒鋁。
- c.淨水場各單元設計資料(含廢水處理設備)與現況操作條件差異比較。
- d.辦理處理設備及操作程序缺失、混沉及過濾效能檢討初評。
- e.依清水鋁含量超出內控原因分類。

如初步評估清水鋁含量偏高原因係因淨水場處理設備效能不彰或設備不足者，可依「台灣自來水股份有限公司淨水場操作效能評估及改善作業要點」由各區管理處成立「綜合操作效能評估小組」，透過淨水場營運效能評估及提昇(operational performance evaluation & enhancement, OPEE)制度，辦理淨水場營運效能評估及改善工作，以強化淨水場操作及管理效能，並確認是否配合辦理設備之改善或擴建。

表 1 為各單元產水中鋁含量偏高之可能原因與建議因應措施，淨水場經各單元殘餘鋁含量與物種調查後，可參照該表作進一步之改善策略擬訂，惟由該表所列之建議改善措施觀之，提升混沉及過濾效能，應為辦理清水鋁含量改善之核心，另由於傳統淨水程序對溶解鋁去除能力不佳，故針對原水中含有偏高含量之溶解鋁者，可考量於混凝前以調整 pH 加以因應。此外，考量清水中的濁度與顆粒鋁濃度具正相關，故針對仍有超出內控標準值之虞或後續經檢測清水鋁含量超出內控標準值之淨水場，如其超內控原因為顆粒鋁所貢獻者，沉澱池上澄液濁度內控標準值建議由 5 NTU 逐步加嚴至 2 NTU，過濾水、清水濁度內控標準值建議由目前之 0.5 NTU 逐步加嚴至 0.2 NTU。

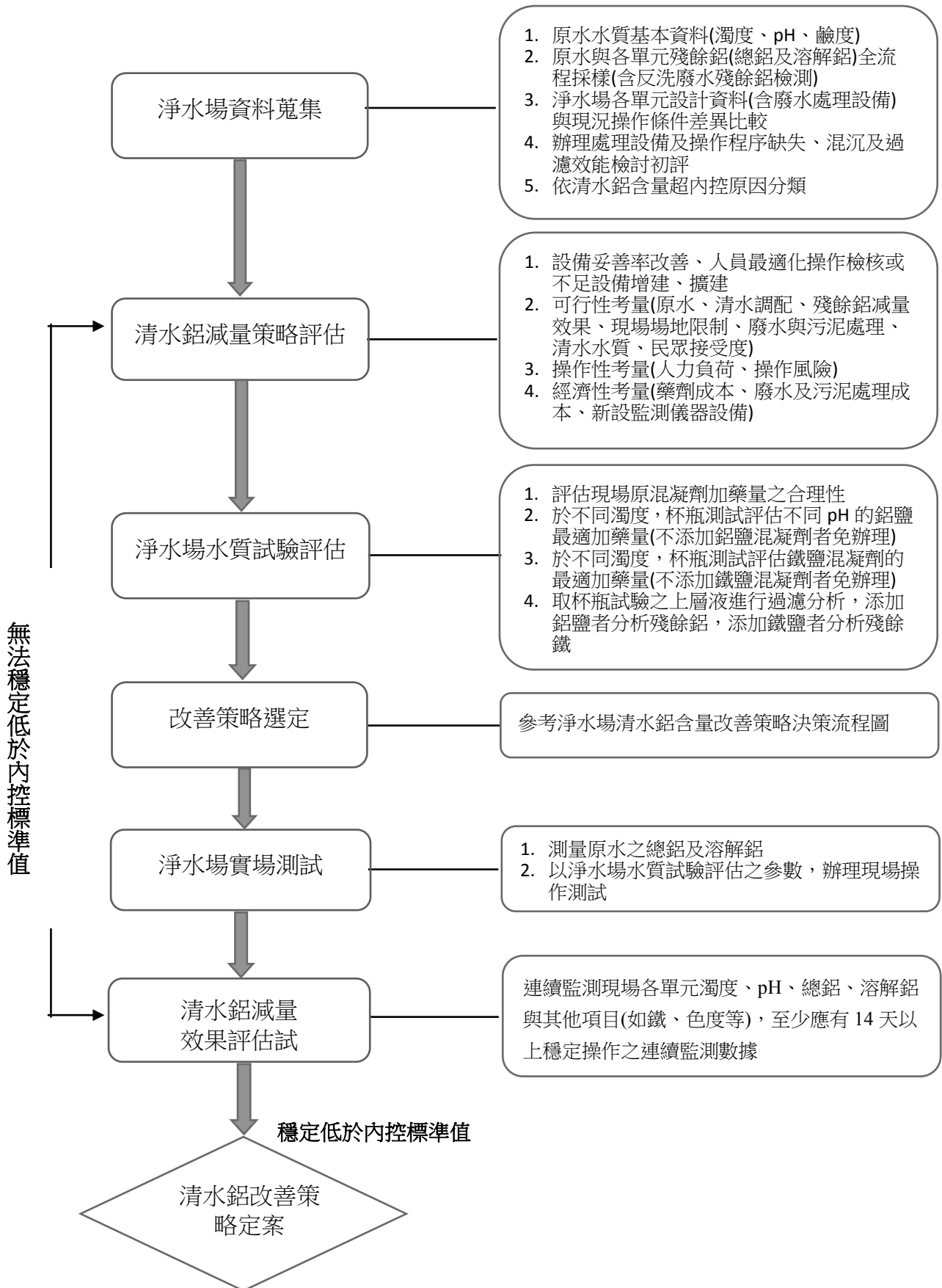


圖 2 淨水場清水鋁含量改善標準作業程序

(2)清水鋁含量減量策略評估

由淨水場收集資料中，以鋁含量濃度，初步評估改善策略，至少應考量三個面向：

- a.可行性考量：包含殘餘鋁含量減量效果、現場場地限制、廢水與污泥處理、清水水質、用戶接受度。
- b.操作性考量：包含人力負荷、操作風險。
- c.經濟性考量：包含藥劑成本、廢水及污泥

處理成本、新建監測儀器設備成本。

為了選出各淨水場的最適改善策略，可參考圖 3 改善策略建議之可能的流程路線，就各水場的條件選出數個方案，在考量可行性、操作性與經濟性之後，做出最適改善策略的選擇，此一階段由區處「水質異常處理小組」研商後，再透過實驗室的試驗評估進行可行性、操作性與經濟性的確認。

表 1 各淨水單元水中鋁含量偏高之可能原因與建議因應措施

	鋁含量型態	鋁含量高之可能原因	建議改善措施
原水	顆粒鋁	1. 區域土壤地質鋁含量較高 2. 圳路水普遍較水庫水易有較高顆粒鋁含量 3. 降雨沖刷造成暫時性鋁含量偏高	1. 改變取水方式或調配不同水源混合使用 2. 降雨時應加強殘餘鋁之分析 3. 改用氯化鐵混凝劑
	溶解鋁	區域土壤地質鋁含量較高或原水 pH 值偏高	建議以調整混凝 pH 值因應
沉澱水	顆粒鋁	1. 過量加藥 2. 混凝攪拌強度不足，膠羽過細 3. 沉澱池污泥累積過多 4. 沉澱池排泥後重新操作之不穩定狀態 5. 混凝、沉澱設備不足	1. 進行杯瓶試驗評估，降低加藥量 2. 調整慢混轉速 3. 加強沉澱池排泥 4. 加強監控過濾之濁度及殘餘鋁去除效能 5. 增設混凝、沉澱設備 6. 添加助凝劑(如黏土)或以迴流污泥增加濁度
	溶解鋁	源自前端原水水質狀況或過量加藥	1. 進行杯瓶試驗評估，降低加藥量 2. 調整混凝 pH 值(原水高 pH 值低鹼度者優先適用) 3. 改用氯化鐵混凝劑
過濾水	顆粒鋁	1. 濾池狀況不佳 2. 濾程過長 3. 濾池反沖洗後重新操作，易有顆粒鋁穿透 4. 自動反洗式(ABW)濾池反沖洗操作進行時，易有顆粒鋁穿透 5. 過濾設備不足	1. 進行濾池檢定，必要時進行濾床淨空維修與換砂 2. 縮短濾程 3. 加強監控清水濁度及殘餘鋁 4. 建議裝設各濾池獨立之產水濁度連續監測設備，或加強監控清水濁度及殘餘鋁 5. 增設過濾設備 6. 添加少量混凝劑，採直接過濾
	溶解鋁	源自前端原水水質狀況或過量加藥	1. 進行杯瓶試驗評估，降低加藥量 2. 調整混凝 pH 值
清水	總鋁	清水池底累積濁度物質	1. 清洗清水池 2. 調配低鋁含量清水混合。

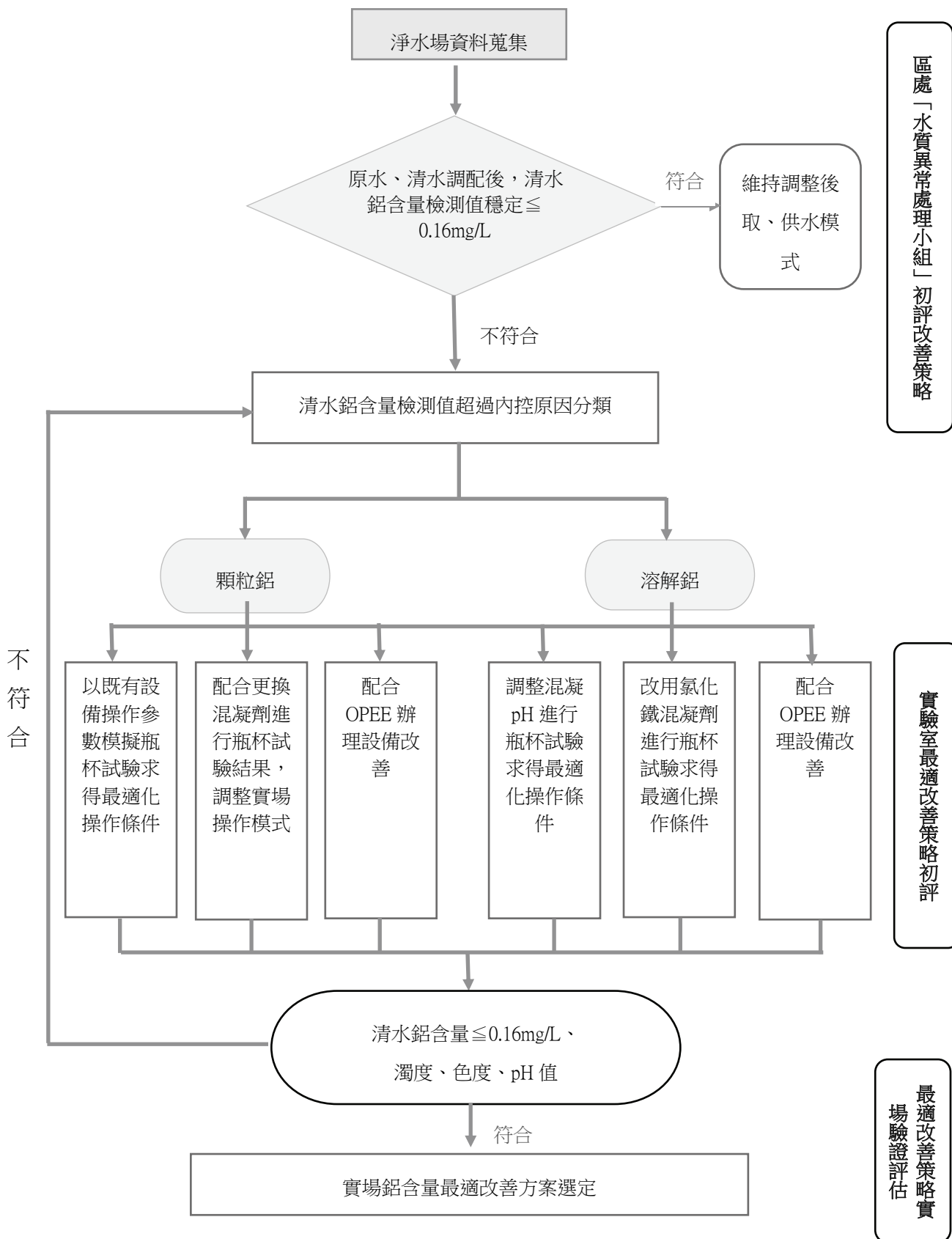


圖 3 淨水場清水鋁含量改善策略決策流程圖

(3)淨水場水質試驗評估改善策略

於實驗室以杯瓶試驗評估現場的加藥改善策略，例如：改變混凝劑加藥量、混凝劑種類或是 pH 值的調整，以其杯瓶的試驗之結果去研判現場改善之結果，但不論採取的改善策略為何，應一併進行過濾模擬測試，以 0.45 μm 的濾紙進行過濾分析，如以鋁系的混凝劑結合 pH 值調整的改善策略，應針對濾液進行殘餘鋁與濁度的分析；如以鐵系混凝劑調整的改善策略，應針對濾液進行殘餘鐵、濁度與色度的分析。

(4)改善策略選定

於進行改善策略之淨水場水質試驗評估後，應由區處「水質異常處理小組」藉由淨水場水質試驗評估結果，及參考淨水場清水鋁含量改善策略決策流程圖研商適合策略，並辦理下一程序的實場測試。

(5)淨水場實場測試

淨水場實場測試建議步驟如下：

- a. 檢測原水之總鋁及溶解鋁含量。
- b. 以淨水場水質試驗評估之參數改變現場操作條件，如實場淨水處理設備可區分不同生產線者，可採部分產線實場測試辦理，以降低操作條件改辦的衝擊，惟應以可採驗各測試處理流程代表性水樣為原則，以利了解測試成效。
- c. 每日監測實場各單元濁度、pH 值、總鋁、溶解鋁與其他項目(如鐵、色度等)，並且至少應有二週以上穩定操作之連續監測數據。
- d. 即使實場測試結果，水質可符合規範，仍須考量原水水源特性改變，所造成的殘餘

鋁含量異常。如豐水期與枯水期、水庫水或圳路水使用比例差異，對殘餘鋁所造成之影響。

- e. 進行改善策略決定後之施行，應配合日常的水質檢測工作，並增加必要的水質項目，如清水中鋁濃度、色度、pH 值或鐵濃度等項目，並應持續監測配水管網中的水質變化，以確保處理水的品質。

(6)清水鋁減量效果評估

為確認清水鋁減量效果，於實場測試時應連續監測現場各單元濁度、pH、總鋁、溶解鋁與其他項目(如鐵、色度等)，至少 14 天以上穩定操作之連續監測數據，做為評估清水鋁減量成效之基礎，並應召開區處「水質異常處理小組」專案會議，確認選定改善方案之成效是否符合預期。

(7)淨水場清水鋁含量改善策略定案後續應辦事項

各淨水場清水鋁含量改善策略定案後，即應依選定之策略辦理操作模式之調整或設備之增設、改善等作業，並修訂各淨水場操作標準作業程序，以利操作同仁有所遵循，惟因原水水質常有季節性之變化，故各場仍應持續追蹤清水鋁含量之變化，尤其在原水水質條件異常變化時，更應提高水質檢驗頻率，以確認清水鋁含量可符合內控值，如有發現其檢測值有超出內控值之情形者，即應依本研究所建議之改善方案重行檢討，研擬相關改善措施，另針對需辦理相關處理設備改善部分，亦應積極辦理，以避免為辦理清水鋁含量改善衍生其他水質不合格或環境污染情事。

五、結論與建議

(一)環保署於 2014 年訂定鉛的飲用水標準，並分三階段實施，台水公司為因應 2019 年 7 月實施鉛飲用水標準 0.2 mg/L 要求，自訂較為嚴格的內控標準 0.16 mg/L 進行管控，以確保其水質安全。本研究統計 2014 年 7 月鉛標準實施以前，超出台水內控標準的場所數有 93 場，此 93 場中以地面水為水源最多有 69 場、地下水為水源有 20 場(超出內控原因多為使用地面水源淨水場支援供水)、兩者混合水源有 4 場。

(二)造成清水鉛含量偏高的原因，經統計以混凝劑添加過量及原水 pH 值偏高所引起的因素最多，各達 34 場約占其 1/3，其次為原水含鉛量偏高及過濾效果差等因素。

(三)依採用的改善策略可歸納為最適化混凝條件、提高濁度去除效果、搭配使用不含鋁鹽混凝劑、調整 pH 值四種，依使用場所數區分，以搭配使用不含鋁鹽混凝劑(34 場，其中採雙加藥為 11 場)最多，其次為最適化混凝條件(29 場)、提高濁度去除效果(25 場)，最少使用的為調整 pH 值(5 場)。造成清水鉛偏高原因中，原水 pH 值偏高的因素最多，然採用調整 pH 值策略的淨水場數卻最少，因調整 pH 值須添加硫酸，屬特定化學物質，場所使用時應依特定化學物質危害預防標準暨相關職業安全衛生法令規定辦理，減少工安風險。

(四)台水公司經各區處數年來的努力，超出

公司自訂的內控標準值由 2014 年的 93 場，降低至 2017 年來曾超出內控的 33 場，其中 14 場為動態不穩定(超出內控為 1 次者)較為輕微，其他 19 場為偶有超出內控之虞(超出內控 2 次以上者)，分佈於第三區處、第四區處、第七區處。從改善策略來看，以第二區處(原水 pH 值及鹼度低，以顆粒鉛為主)提高濁度去除效果及搭配最適混凝條件、設備改善，第五區處、第六區處(原水 pH 值及鹼度高，溶解鉛高)搭配使用不含鋁鹽混凝劑具顯著效果。而第一區處、第三區處、第四區處及第七區處(原水濁度變化大、pH 值不穩定)較常採用最適混凝條件或提高濁度去除效果，可能採用策略及操作方式仍須調整，至今尚未完全解決鉛的問題。

(五)針對鉛含量尚有風險的 12 座淨水場進行現場訪談，發現部分場所改善及操作方式仍有進一步改善的空間，如集*場為符合清水鉛含量小於內控標準，降低含鋁混凝劑加藥量或不加藥劑，造成出水清水濁度大幅升高及鉛偶有超出內控標準的疑慮。

(六)酸鹼度偏高的淨水場，如牡*及石*淨水場經實場測試，調降 pH 值及搭配過濾設備效能提升，可大幅降低清水鉛含量，已建議廠所建置永久性調降 pH 值設備。

(七)寶*場水源取自寶山水庫，來源穩定，惟水庫表層偶會因藻類及枯旱造成 pH 值升高，目前採用自較低的取水口取水，取得較低 pH 值的原水及降低加藥等方

式因應，然仍有超出內控的風險，建議建置調降 pH 值設備，當原水 pH 值偏高時調整 pH 值，降低該場鋁超出內控之風險。

(八)新*第一、新*第二、豐*第一、豐*第二場採取雙加藥系統，固定氯化鐵搭配適當 PACl，惟因水源濁度變化較大，增加加藥操作及控制的困難度，建議應建立完善的加藥曲線、濁度回饋加藥自動控制系統或改善加藥模式，以降低其風險。

(九)員*場清水鋁超出內控可能原因為有時原水 pH 值偏高、分水井快混效果不佳、部分沉澱池刮泥機故障、過濾效果不佳及清水池底泥砂未清理等，清水具殘餘顆粒鋁及溶解鋁風險，建議針對淨水處理設備進行修復，以提升淨水效能，降低顆粒鋁之風險，並適時因應原水 pH 值變化調降 pH 值及更新加藥曲線以降低濁度及溶解鋁改善水中鋁含量。

(十)坪*場建議恢復快速膠羽沉澱池功能並檢討改善處理負荷，並定期清理清水池底泥及加強快濾池效能。

(十一)水*場建議購置調降 pH 值設備添加硫酸調整原水 pH 值，並調整聚氯化鋁混凝劑加藥量，以達最適化條件。

(十二)有關員*淨水場實場改善策略評估，依淨水場水質試驗評估結果，建議採「調整混凝 pH 值進行杯瓶試驗求得最適化操作條件」及「設備妥善率改善或不足設備增建、擴建評估(OPEE)」改善策略可有效降低清水殘餘鋁超標風險，惟因員*場現階段尚未完成既有設

備改善，故待該場完成改善後，再辦理下一階段淨水場實場測試。

(十三)本研究擬定包含「淨水場資料蒐集」、「清水鋁減量策略評估」、「淨水場水質試驗評估」、「改善策略選定」、「淨水場實場測試」、「清水鋁減量效果評估」等 6 項決定最適合的改善策略，可作為往後各區處辦理清水鋁含量改善流程之參考。

(十四)按文獻所彙整之淨水場清水鋁含量改善對策「最適化混凝條件」、「調整 pH 值」、「提高濁度去除效率」、「搭配使用不含鋁鹽混凝劑」等觀之，可依其殘餘鋁減量標的分為顆粒鋁與溶解鋁，故本研究所提之改善行動方案，即將清水鋁含量仍有超出內控值之虞的 33 處淨水場概分為「顆粒鋁」、「溶解鋁」、「顆粒鋁 / 溶解鋁皆有」等三類，惟因台水公司以往針對清水鋁含量檢驗僅檢測總鋁含量，故僅能就既有總鋁含量 pH 值及濁度等檢測資料做初步分類，未來各淨水場辦理清水鋁含量改善時，仍應依本研究所提供之標準作業程序，逐步評估及確認改善策略，建議日後對於淨水場鋁含量檢驗，應同時檢測「溶解鋁」及「顆粒鋁」，以利作為辦理改善策略研擬之參考。

(十五)淨水場操作同仁為確保各處理流程水質可符合內控標準值，部分操作人員會以加藥曲線顯示之加藥量多 10~20% 進行加藥，此舉有可能造成清

水鋁含量異常增加，且新進操作同仁對於清水鋁含量改善智識及氯化鐵使用等觀念有待加強，故建議於操作人員年度訓練課程內，可適度加入鋁含量改善相關課程，以提高其本質學能。

(十六)清水鋁檢項雖非屬「影響健康」及「可能影響健康」項目，惟近年已成為民眾關心之水質議題，建議比照「影響健康」及「可能影響健康」項目納入「台灣自來水股份有限公司水質預警事件作業要點」規定辦理。另建議由總管理處(供水處)邀請各區處具有鋁含量改善實務經驗與熱忱同仁及外部專家學者組成「淨水場清水鋁含量改善技術輔導小組」，提供無法符合飲用水鋁內控標準值(0.16mg/L)之淨水場，或改善成效不彰之淨水場技術諮詢並協助各區處辦理淨水場清水鋁含量改善工作。

(十七)部分淨水場礙於供水需求，有時會發生超載出水或處理設備妥善率欠佳等影響水質情事，故針對清水鋁含量有超出內控之淨水場，宜先行辦理 OPEE 釐清是否因操作不良或設備不足等，導致混沉或過濾效能不佳之情形，以利評估最適清水鋁含量改善策略。

(十八)淨水場過濾單元係以水流經大小顆粒不同之濾料所堆疊之濾床，藉由篩除、沉澱、攔截及擴散等作用，達到去除濁度及減少水中顆粒鋁含量，依文獻指出顆粒性鋁分析可做為沉澱池與過濾膠羽分離效率之指標，當出水濁度小於 0.2 NTU 時，過濾水中的顆

粒鋁可視為大部分被攔截去除，為降低顆粒鋁偏高造成總鋁超出內控值之風險，針對清水鋁含量主要因顆粒鋁所貢獻致超出內控值之淨水場(含目前 33 座仍有超出內控標準值之虞或後續經檢測有超出內控者)，建議沉澱水濁度 2NTU，清水濁度 0.2NTU 作為簡易控制指標，如濁度超出內控值時，除需額外進行鋁之採樣檢測，並應依前述清水鋁含量改善標準作業程序提出改善計畫，分階段辦理改善。

(十九)為確保新設或擴建淨水場清水鋁含量可符合內控值，建議規設時應考量水源特性，以沉澱水濁度小於 2NTU，過濾水及清水濁度小於 0.2 NTU 為設計及驗收目標。

(二十)因台水公司目前面臨人力斷層，人力輪動快，本研究所提及之清水鋁含量改善智識及氯化鐵使用觀念可適度加入新進人員職前訓練班或淨水場操作營運練班，並建議可將本研究所列「淨水場清水鋁含量改善行動方案」內化為台水公司管理規章，提供給相關單位遵循辦理淨水場清水鋁含量改善工作。

參考文獻

- 1.American Water Work Association. Operational Control of Coagulation and Filtration Processes, 2011.
- 2.Amirtharajah, A. and Mills, K. Rapid-mix design for mechanisms of aluminum coagulation. AWWA, 74(4), pp210-216,1982.
- 3.洪旭文、林韶凱、劉育晰、邱宜亭、蔡沁芳、

呂建德 (2010)，水公司各淨水場清、配水含鋁量分析調查及最適化處理之研究，台水公司委託研究計畫

- 4.林志麟、曾浚宸、彭立任。混凝加藥模式對淨水場清水鋁含量最小化之影響，中華民國自來水協會第35屆自來水研究發表會，2018。
- 5.嘉南藥理大學，淨水場清水鋁含量改善對策，台水公司委託研究計畫，2014。
- 6.江弘斌、邱魏琴雲、吳美炷、黃瑞聰，台水公司各淨水場原水清水含鋁量調查，自來水會刊雜誌，第16卷第1期，1997。
- 7.陳錦風、李冠緯、陳志男、涂榮宗、張天教，烏山頭廠淨水程序改變操作操數以控制殘餘鋁之研究，台水公司研究案，2012。
- 8.沈文宗、陳錦風、陳志男、李冠緯、涂榮宗，烏山頭廠氯化鐵混凝劑應用操作可行性之研究，台水公司研究案，2013。
- 9.楊峰杰、楊欣儀、羅明對、黃均盛、李建興，林內淨水場清水鋁改善之研究，台水公司研究案，2014。
- 10.吳勝雄，南上場降低加藥量對清水含鋁量影響之初步研究，台水公司研究案，2013。

作者簡介

李貞慧小姐

現職：台灣自來水股份有限公司水質處組長

專長：水質管理、水質檢驗

洪世政先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處處長

專長：水質管理、環境工程

游育晟先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處工程師

專長：水質檢驗及分析

劉彥均先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處工程員

專長：水質檢驗及分析

陳文祥先生

現職：台灣自來水股份有限公司供水處組長

專長：自來水處理技術、水質管理

唐俊成先生

現職：台灣自來水股份有限公司工安環保處處組長

專長：自來水處理技術、水質管理

北水處供水塑化劑含量調查與健康風險評估

文/薛志宏、鍾佳宏

一、前言

以往受限於檢測技術，一直無法全面性調查自來水系統中從原水、淨水場清水至管網供水中各項塑化劑含量；另塑化劑檢測結果該如何解讀，有測定值之出現，是否代表自來水供水出現飲用健康危害？對於尚未訂入飲用水水質標準(經完整健康風險評估)的化學物質對人體健康的危害，其實存有一套科學性評估程序，並非以單一測值為考量及判斷，而目前廣泛使用之多種塑化劑化合物，大多未正式訂入飲用水水質標準，可運用該程序進行較科學之健康風險評估。

二、人類健康風險評估方法

美國環保署對人類健康風險評估(Human Health Risk Assessment)定義為評估人類暴露於特定化學物質污染環境，所產生負面健康效應的特性與可能性的程序。要瞭解此程序前，應先瞭解危害(Hazard)與風險(Risk)有何不同，危害表示某物質導致負面效應的能力(Capability)，而風險則指在特定暴露狀況(Exposure Condition)下，發生危害的可能性，與暴露接觸之頻率及產生健康的效應都有關。

人類健康風險評估程序分為 4 大步驟，第 1 步為危害確認(Hazard Identification)，目的為描述污染物會導致什麼健康問題，是一種定性風險評估程序，在進行此步驟時，通常利用人類臨床統計數據、流行病學數據(通常非常缺乏)、動物試驗數據(Animal Bioassay)

及細胞與生化研究支撐資料等，進行致癌性及非致癌性評估。化學物質之致癌性，依人體或動物健康證據是否充分進行分類，若人類致癌證據充分，該化學物質即被分類為人體致癌物(Human Carcinogenic)，美國環保署分類為 Group A；國際癌症研究機構(International Agency for Research on Cancer, IARC)分類為 Group 1；若人類致癌證據有限或有充分動物致癌證據但極少或無人類致癌證據，即歸類為極可能人體致癌物(Probable Human Carcinogenic)；美國環保署分類為 Group B；國際癌症研究機構分類為 Group 2A，若無人類致癌證據且不足的動物證據，則歸類為可能人體致癌物(Possible Human Carcinogenic)，美國環保署分類為 Group C；國際癌症研究機構分類為 Group 2B；若僅有單一動物或單一實驗室報告的可疑致癌物，則歸為無法分類為人類致癌物質(Unclassifiable as to carcinogenicity in humans)，美國環保署分類為 Group D；國際癌症研究機構分類為 Group 3；若目前資料判定無人類致癌性，則歸類為非人類致癌物質或極可能非人類致癌物質，美國環保署分類為 Group E；國際癌症研究機構分類為 Group 4。

致癌物質係以動物試驗結果進行分類，有急毒性、慢毒性(包括生殖毒性、生長發育毒性、致突變性、系統毒性)及標的器官傷害等毒理資料，具門檻值，以暴露高於某一濃度出現健康負面效應表示。

第 2 步為劑量反應評估(Dose-Response Assessment)，目的為描述不同暴露量與發生負面健康可能性及嚴重性等定量關係評估。此評估限於毒理數據之完整性，常使用 2 種外插法，分別為實驗環境高濃度外插至低濃度狀況，另一為由動物試驗結果外插至人類。對於劑量效應評估方式，非致癌性物質具有閾值效應，採用非線性劑量效應評估，如圖 1 所示，以未觀察到不良效應之劑量 (No-observed-adverse effect level, NOAEL) 及可觀察到不良效應之最低劑量 (Lowest-observed-adverse effect level, LOAEL) 來評估閾值，但在實驗上 NOAEL 的觀察有一定的難度，因此以 LOAEL 替代，推估參考劑量 RfD (Reference dose)或參考濃度 RfC (Reference concentration)時，則需考慮不確定因子(Uncertainty factors, UFs)，以計入不同族群及不同生物間差異之不確定性。

RfD 或 RfC 可以下列公式計算：

$$\text{RfD (mg/kg/day) or RfC (mg/m}^3\text{/day) = NOAEL (or LOAEL) / UFs}$$

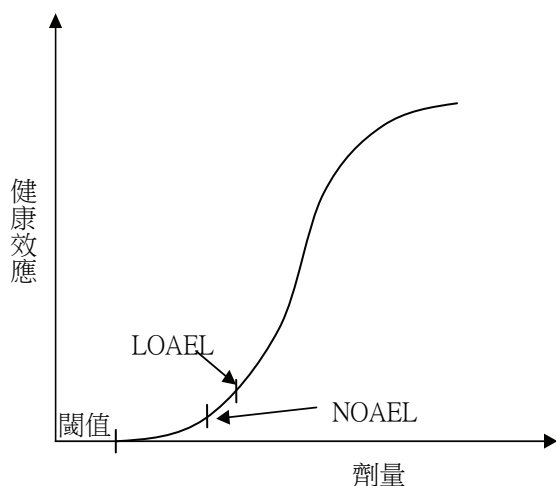


圖 1 非線性劑量效應評估

癌症風險的評估屬於危害化學物質暴露與健康效應間沒有閾值的情況，採用線性劑量效應評估，如圖 2 所示，利用已知的實驗劑量觀察數據，與原點(意即沒有劑量即沒有效應的情況)所得到的直線，其斜率稱為斜率因子(Slope factor or Cancer potency)。而癌症的終生風險評估主要就是以暴露的強度與斜率因子來進行推估，可以公式 1 表示

$$\text{Cancer Risk} = \text{Exposure Dose} \times \text{Slope factor} \quad (\text{公式 1})$$

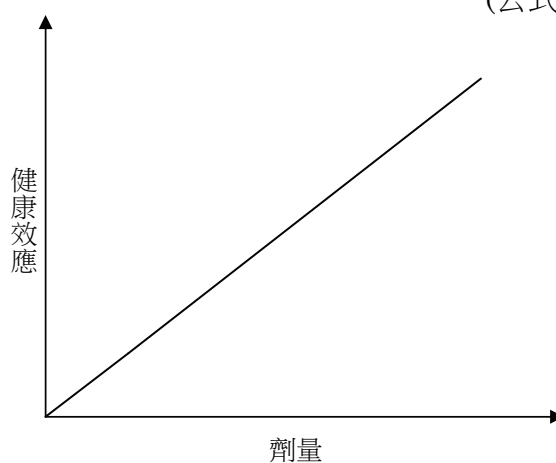


圖 2 線性劑量效應評估

第 3 步暴露量評估 (Exposure Assessment) 係推估出危害化學物質於不同人類族群、暴露期間及暴露管道及方式之暴露量。終身攝入劑量(LDI,Lifetime ingestion dose)或稱慢性每日攝取量(Chronic daily intake)可公式 2 計算，此可用於致癌風險或非致癌風險

LDI (mg/kg/day)=C*IR*EF*ED /BW*AT*RSC (公式 2)式中

C：存在暴露環境中之平均濃度，水以 mg/L 表示

IR：攝入率，水以 L/day 表示

EF：暴露頻率，days/year

ED：暴露期，years

BW：暴露人體重，kgs

AT：計算劑量(Dose)平均天數，days

RSC：介質相對貢獻比(美國 EPA 建議對飲用水用 0.2~0.8，一般用 0.2)

以計算飲用水暴露量而言，70 公斤(成人平均體重)成人，每天喝 2 公升水，連續喝 70 年計算，IR=2 公升/天；EF=365 天/年；ED=70 年；BW=70 公斤；AT=70×365 天=25550 天；RSC 則依危害化學物質不同而有不同。就飲用水而言，美國環保署(USEPA)建議使用 20%(0.2)，澳洲健康及藥物協會(NHMRC)及世界衛生組織(WHO)建議使用 10%(0.1)。

第 4 步風險描述(Risk Characterization): 係依暴露量評估結果，評估不同人體暴露污染物狀況下，對人體健康可能產生之危害性。風險描述包含兩個部分，第一部分為風險度數值之估算，第二部分則為可以用來判斷風險度之顯著性 (Significance of the risk) 的標準。

風險度數值表示方式有 3，分別為單位風險度 (Unit Risk)、劑量相當風險度 (Dose Corresponding to a Given Level of Risk) 及個體及族群風險度 (Individual and Population Risks)。

風險度數值之估算，分致癌性及非致癌性分別估算。致癌性(Carcinogenic)風險度數值計算，方法 1 為使用暴露劑量計算，如公式 3

致 癌 風 險 = 慢 性 每 日 攝 取 量 (CDI)(mg/kg/day)× 癌 症 斜 率 因 子 (CSF)(1/(mg/kg/day)) (公式 3)

方法 2 為依單位濃度風險值的計算，飲用水公式如公式 4 為

致 癌 風 險 = 水 中 致 癌 物 質 濃 度 (μg/L 或 mg/L)× 單 位 風 險 度 (1/(μg/L) 或 1/(mg/L)) (公式 4)

計算結果低於致癌風險可接受門檻 10⁻⁶ 為「可接受狀況」；大於 10⁻⁶ 則為「不可接受狀況」。

非致癌性(Noncarcinogenic)風險計算，以危害商數公式計算，如公式 5

非致癌風險危害商數(Hazard Quotient) HQ=CDI/RfD (公式 5)

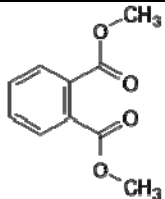
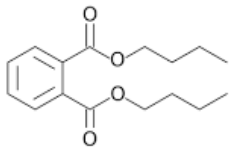
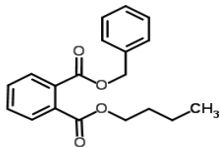
危害商數小於 1，表示暴露劑量低於會產生不良反應的閾值，不會造成危害，若大於 1，表示暴露劑量高於會產生不良反應的閾值，可能產生毒性。

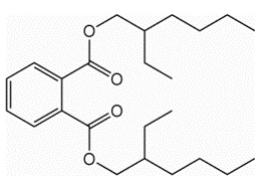
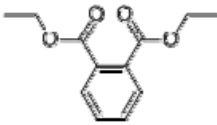
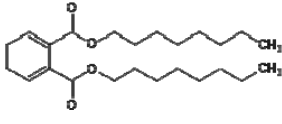
三、各種塑化劑化合物用途及飲用水中的來源與流佈

(一)各種塑化劑的化學結構

本研究檢測調查的 6 種常見塑化劑化學結構如表 1

表 1 六種塑化劑之化學結構

塑化劑名稱	化學結構式
鄰苯二甲酸二甲酯 (Dimethyl phthalate, DMP)	
鄰苯二甲酸二丁酯 (Di-n-butyl phthalate, DBP)	
鄰苯二甲酸甲苄基丁酯 (Butyl benzyl phthalate, BBP)	

<p>鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯 (Di-(2-ethylhexyl) phthalate, DEHP)</p>	
<p>鄰苯二甲酸二乙酯 (Diethyl phthalate, DEP)</p>	
<p>鄰苯二甲酸二正丁酯 (Di-n-octyl phthalate, DNOP)</p>	

(二)各種塑化劑的用途與人類暴露途徑

DEHP 是人工合成的化學物質，為無色油狀液體，輕微味道，不容易蒸發，微溶於水，本身物理特性良好，成本低廉，可做為 PVC 塑膠的塑化劑，增加其彈性。PVC 塑膠中 DEHP 的含量在 1%到 40%之間。DEHP 還可作為液壓油、電容器的介電質及螢光棒中的溶劑。一般塑膠物品如雨衣、鞋類、裝潢材料、兒童玩具、食物包裝材料、塑膠皮革、園藝用水管、游泳池內襯及桌布浴簾等，均可發現其存在。一般民眾可藉由空氣、水、食物及皮膚接觸暴露 DEHP，另透過醫療品如點滴袋、尿袋及透析管，也會進入人體。

DMP 是一種無色液體，可溶於有機溶劑。可用作蚊子和蒼蠅的驅蟲劑。它也是殺外寄生物用藥，主要作為硝化棉、醋酸纖維、樹脂、橡膠、火箭推進劑和玻璃的製造材料(塑化劑)；於塗漆、塑膠、橡膠、塗層、安全眼鏡及成型粉末的廢棄可能導致釋出於環境中。一般人的接觸途徑為吸入含 DMP 空氣、食入食物及飲用水及皮膚接觸。

DBP 是一種無色無味油性液體，常用的增塑劑，廣泛運用於油溶性染料溶劑、消泡

劑、氯化塑膠、炸藥、指甲油、芳香劑、樹脂、膠粘劑和印刷油墨的添加劑及紡織品纖維潤滑劑。可溶於多種有機溶劑，如醇、醚和苯。DBP 也用作一種殺體外寄生蟲藥，可透過食物、空氣及水進入環境。

DNOP 是一種無色無味油性液體，不易揮發的人造化學物質，用以添加於 PVC 等塑膠使之柔軟具彈性。用於家用及建物產品，如地板、地毯、防水布、手提電腦蓋、交通錐、乙烯手套、園藝用水管、亦用於醫療用管及血袋、繩子、纜線、地毯包裝、塑膠地板及黏著劑，亦用化妝品及農藥。為美國禁用的 3 種鄰苯二甲酸酯添加劑之 1，一般人的接觸途徑為工人吸入含 DNOP 煙霧、食入儲存於含 DNOP 塑膠容器的食物及飲用水，皮膚接觸較少發生。

BBP 為透明油性液體，具輕微味道，溶水性中等，大部分用作 PVC 塑膠之塑化劑，廣用於製造乙烯塑膠地磚、交通錐、防水布簾、食物輸送帶、人造皮革及汽車內飾，用於某些乙烯手套、黏著劑及嵌縫防漏產品。已被認定是一種毒物，美國於 2011 年 12 月 31 已禁用。歐洲化學局 European Chemical Bureau (ECB)已將之分類為毒性物質。一般民眾可藉由空氣吸入、飲用污染的飲用水及皮膚接觸暴露，室內乙烯地板會釋出少量 BBP，皮膚接觸含 BBP 產品亦是暴露途徑。

DEP 是鄰苯二甲酸酯類最常使用的化合物，常於製造塑膠製品以增加彈性，用於纖維素酯類之溶劑，香水或化妝品之溶劑及固定劑噴霧的殺蟲劑，織物之上油劑，潤濕劑，塑料，常用於牙刷、汽車零件、工具、食品包裝，水源可能來自管件及幫浦，已有研究指出會傷害人體神經系統及生殖器官。

四、各種塑化劑化合物的毒理資料

本研究調查自來水水源及供水中 6 種常用塑化劑，並於包括美國環保署整合性風險資料系統(Integrated Risk Information System, IRIS)、美國毒理學網路 (Toxnet)、美國健康部毒性物質及疾病註冊署(Agency for Toxic

Substances and Disease Registry, ATSDR)及行政院環保署飲用水水源與水質中新興污染物對人體健康風險評估之研究計畫毒理資料庫等資料庫中查詢相關人體健康評估參數，彙整如表 2。

表 2 各種塑化劑之毒理資料

塑化劑化學物質	致癌等級	口服參考劑量 RfD (mg/kgbw/day)	口服致癌斜率因子 Slope Factor [1/(mg/kgbw/day)]	飲用水單位風險 (1/(μ g/L))	致癌或非致癌關鍵症狀	毒理資料來源
DEHP	2B	0.02	0.014	4E-7 (10 ⁻⁶ 致癌風險濃度 3 μ g/L)	腫瘤增加(鼠) 增加肝重	IRIS
DMP	D	Screening value RfD= 0.1mg/kg/day (LD50=2400mg/kg)大鼠 0.185ng/kgbw/day(法國)	無	無	增加肝重、降低血清及睪丸酮素	1.USEPA PPRTV (2007) 2.TOXNET
DEP	D	0.8	無	無	減緩成長、器官重量改變	IRIS
DBP	D	0.1 0.87ng/kgbw/day(法國)	無	加拿大及其他個別研究成人飲用水攝入量應 <0.02 μ g/kgbw/day	增加致死率	IRIS
BBP	C	0.2	無	無	明顯增加肝與體重比及肝與腦重比	IRIS
DNOP	2B	MRL= 0.4 mg/kg/day 0.02(大鼠) 每年飲用水暴露量 0.0728mg(加拿大)	無	無	肝毒性，食入毒性較弱	1.ATSDR 2.行政院環保署飲用水水源與水質中新興污染物對人體健康風險評估之研究計畫毒理資料庫(102年11月)

表 3 國際飲用水水質標準訂定塑化劑標準 (單位:µg/L)

國別 物種	WHO	美國	加拿大	歐盟	澳洲	紐西蘭	日本	南韓	新加坡	中國
DEHP	8	6	-	-	10	9	80	-	8	8
DMP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300
DBP	-	-	-	-	-	-	10	-	-	3
BBP	-	-	-	-	-	-	500	-	-	-
DNOP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

六種塑化劑中，目前僅 DEHP 有較多國家訂有飲用水水質標準，目前各國水質標準訂定，如表 3。

五、調查方法

(一)樣品採集

分別於春夏 2 季採取北水處各原水、淨水場清水及供水管網代表點水樣，進行 DEHP 等 6 項塑化劑檢驗，以瞭解塑化劑可能來源及暴露風險，原水包括地面水及湧泉等 14 處；淨水場清水包括採取傳統混凝、沉澱、快濾及加氯消毒淨水程序淨水場 5 處、採簡易快濾桶過濾及加氯處理 2 處、採慢濾及加氯處理 1 處、湧泉直接加氯處理 4 處，共 12 處，供水管網代表點則包括台北市 47 處與新北市 50 處，共 97 處。

(二)塑化劑檢驗

本調查參考行政院環境保護署環境檢驗所公告之檢驗方法-水中殘留農藥檢測方法及行政院衛生福利部食品藥物管理署公告之建議檢驗方法食品中鄰苯二甲酸酯類塑化劑檢驗方法進行檢驗。

樣品處理取適當水樣（水樣中如果含有微粒或是懸浮物時，先取適當水樣經過 4 µm、1 µm、孔徑更小過濾膜過濾）置於離心管中，並加入等量甲醇，以鋁箔紙覆蓋後（或使用含蓋離心管）於 3500 rpm 轉速離心 15 分鐘，取上澄液注入液相層析串聯質譜儀，經管柱層析分離後，以化合物的相對滯留時間及質譜來檢測樣品中的 DMP、DBP、DEP、BBP、DNOP 及 DEHP 的成分與含量。

使用儀器:液相層析儀：安捷倫 1290 Infinity；質譜儀：賽爾克斯 QTRAP® 5500 LC-MS/MS System；捕捉管柱：Poroshell 120 EC-C18 (2.7µm, 3.0 mm x 100 mm)；層析管柱：Poroshell 120 EC-C18 (2.7µm, 2.1 mm x 150 mm)。

操作條件：1. 高效能液相層析儀 (HPLC)：

捕捉管柱：Poroshell 120 EC-C18 (2.7µm, 3.0 mm x 100 mm)

層析管柱：Poroshell 120 EC-C18 (2.7µm, 2.1 mm x 150 mm)

層析管柱溫度 (Column Oven)：40°C

注射量：10 µL

移動相 A 組成：水（含 0.1% 甲酸）

移動相 B 組成：甲醇

移動相流速：0.2 mL/min

移動相梯度：

Time (min)	A%	B%	Flow (mL/min)
0	30	70	0.2
3	30	70	0.2
3.5	5	95	0.2
4.5	0	100	0.2
10.5	0	100	0.2
11	30	70	0.2
15	30	70	0.2

※移動相梯度應隨管柱狀況調整，若有變更，應重新確認標準品的滯留時間。

2. 串聯式質譜儀操作 (MS/MS) 條件

離子源 (Ion Source) 參數：

霧化氣體 (Nebulizing Gas ; GS1) : 50 psi

加熱氣體 (Heated Gas ; GS2) : 60 psi

氣簾氣體 (Curtain Gas ; CUR) : 25 psi

加熱溫度 (Temperature ; TEM) : 500°C

電灑電壓 (Ion Spray Voltage ; IS) : 5000

碰撞氣體 (Collision Gas ; CAD) : Medium

六、檢測結果分析

春季檢測結果如表 4，6 種塑化劑中，於原水、淨水場清水及管網水中檢出者有 DEP、DBP 及 DEHP，DMP、BBP 及 DNOP 則完全未檢出。DEP 於原水、淨水場清水及管網水中之檢出率分別為 14.3%、25.0% 及 32.0%，平均值及中數值均為 ND；DBP 之檢出率分別為 71.4%、25.0% 及 18.6%，平均值除原水為 0.59 μ g/L 外，餘均為 ND；中數值除原水為 0.57 μ g/L 外，餘均為 ND；DEHP 之

檢出率分別為 7.1%、0.0% 及 38.1%，平均值除管網水為 1.48 μ g/L 外，餘均為 ND；中數值則均為 ND。對照表 3，淨水場清水及管網清水於 DEP、DBP 及 DEHP 均符合目前世界各國及世界衛生組織所訂飲用水水質標準或準則值。夏季檢測結果如表 5，6 種塑化劑中，於原水及淨水場清水均未檢出，管網水中檢出者有 BBP、DBP 及 DEHP，DMP、DEP 及 DNOP 則完全未檢出。BBP、DBP 及 DEHP 於管網中之檢出率均很低，分別為 2.1%、3.1% 及 1.0%，平均值及中數值均為 ND。對照表 3，淨水場清水及管網水於 DEP、BBP、DBP 及 DEHP 亦均全數符合目前世界各國及世界衛生組織所訂水質標準及準則值。

春季及全年檢出率結果如圖 3、圖 6，就取樣地點分析，DBP 主要來自地面水源，DEHP 及 DEP 則出現於管網水，整體檢測數據初步判斷，DBP 可能主要來自原水污染，而 DEHP 及 DEP 可能主要來自管網(管材)。再依據供水管網代表點中，配水管材質是否 PVC 管進行分類，分別計算檢測出 DEHP、DEP 及 DBP 占是類代表點百分比，結果如圖 5，顯示配水管為 PVC 管之採樣點，較整體採樣點及配水管非 PVC 管之採樣點，有較高 DEHP 之檢出率，顯示 DEHP 之釋出與存在 PVC 管有一定之相關性。

檢出平均濃度結果如圖 4 及圖 7，顯示原水有較高的 DBP 濃度，管網水有較高的 DEHP 濃度，平均值分別低於 1 μ g/L 及 2 μ g/L，濃度均極低。

檢視春季與夏季之檢測結果，夏季於淨水場原水、清水及管網水之塑化劑檢出率均較春季為低，可能與降雨量及氣溫差異有

關，107 年 5 月台北平均雨量為 42.0mm，8 月則達 186.8mm，高降雨量之稀釋作用，致原水水質較佳；另 5 月平均氣溫 25.2℃，8

月平均氣溫則高達 29.2℃，氣溫高導致用水量較大，自來水可能於管中滯留時間較短，水質較佳。

表 4 春季塑化劑檢測結果

塑化劑物種		DMP	DEP	BBP	DBP	DEHP	DNOP
MDL(µg/L)		0.18	0.18	0.16	0.39	0.98	0.28
原水 14 處	檢出次數	0	2	0	10	1	0
	檢出率(%)	0	14.3	0	71.4	7.1	0
	平均值	ND	ND	ND	0.59	ND	ND
	中數值	ND	ND	ND	0.57	ND	ND
清水 12 處	檢出數	0	3	0	3	0	0
	檢出率(%)	0	25.0	0	25.0	0	0
	平均值	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	中數值	ND	ND	ND	ND	MD	ND
管網 97 處	檢出次數	0	31	0	18	37	0
	檢出率(%)	0	32.0	0	18.6	38.1	0
	平均值	ND	ND	ND	MD	1.48	ND
	中數值	ND	ND	ND	ND	ND	ND

表 5 夏季塑化劑檢測結果

塑化劑物種		DMP	DEP	BBP	DBP	DEHP	DNOP
MDL(µg/L)		0.18	0.18	0.16	0.39	0.98	0.28
原水 14 處	檢出次數	0	0	0	0	0	0
	檢出率(%)	0	0	0	0	0	0
	平均值	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	中數值	ND	ND	ND	ND	ND	ND
清水 12 處	檢出次數	0	0	0	0	0	0
	檢出率(%)	0	0	0	0	0	0
	平均值	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	中數值	ND	ND	ND	ND	MD	ND
管網 97 處	檢出次數	0	0	2	3	1	0
	檢出率(%)	0	0	2.1	3.1	1.0	0
	平均值	ND	ND	ND	MD	ND	ND
	中數值	ND	ND	ND	ND	ND	ND

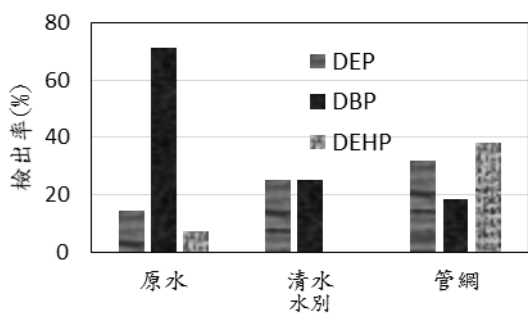


圖 3 春季被檢出塑化劑於各類水樣檢出率分佈

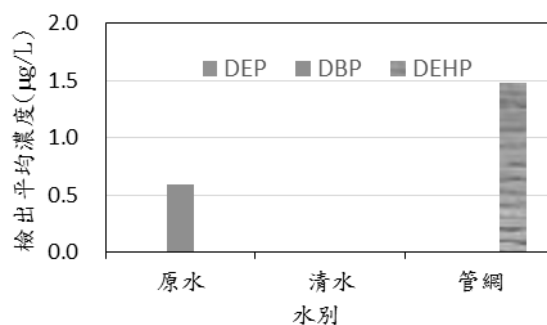


圖 4 春季被檢出塑化劑於各類水樣平均濃度分佈

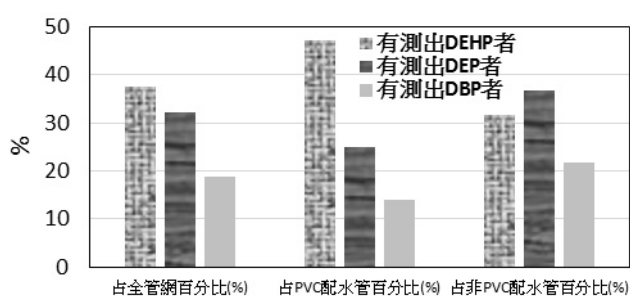


圖 5 PVC 管材對管網春季檢出塑化劑之影響

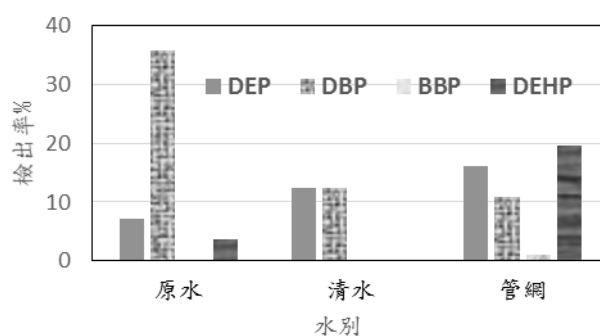


圖 6 全年被檢出塑化劑於各類水樣檢出率分佈

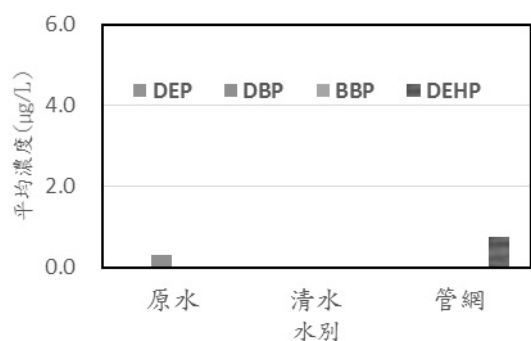


圖 7 全年被檢出塑化劑於各類水樣平均濃度分佈

七、健康風險評估

(一)評估參數

針對被檢測出之 4 種塑化劑(DEP、DBP、BBP 及 DEHP)進行飲用水健康風險評估，查出之健康風險評估參數如表 6 使用之暴露參數為攝入率(IR)以每天喝 2 公升的水

以 2.0 L/day 表示；暴露人體重以成人平均體重 70kgs 表示；暴露期(ED)以 70 年計，飲用水相對供獻度(RSC)以較保守的 1.0 計算。

(二)飲用水終身攝入劑量(LDI)計算

終身攝入劑量計算公式

$$LDI(mg/Kgw*Day)=C(\mu g/L)\times 2(L/day)/70kgs\times 1.0(RSC)\times 1000$$

式中 C 使用水質調查之平均濃度 C_{avg} 計算。各類水樣以平均濃度計算由飲用水終身攝入劑量(LDI(mg/Kgw*Day))計算，春季檢測結果計算如表 7，全年檢測結果計算如表 8

(三)風險計算與描述

1.致癌風險計算

由於檢出之 4 種塑化劑化合物中，僅

DEHP 具致癌性，故僅針對 DEHP 進行評估。

計算 DEHP 於各類水樣之致癌風險，風險等於 LDI 乘以 slope factor 0.014，結果致癌風險淨水場原水、淨水場清水及管網水分別為 0；0 及 0.20×10^{-6} ，均小於 1×10^{-6} ，為可接受狀況。對 DBP 而言，若以國際上慣用之平均濃度計算 LDI，以加拿大個別研究為判斷標準($<0.02 \mu\text{g}/\text{Kgw} \cdot \text{Day}$)，則原水清水與管網水致癌風險均為可接受，但此評估尚未為國際認可，僅供參考。

就個別採樣點特性而言，DEHP 於原水

中檢出者僅有雙溪原水，測值為 $1.71 \mu\text{g}/\text{L}$ ，顯示原水僅地面水中污染相對較嚴重之雙溪原水具輕微污染，餘均無風險，清水均未檢出。

若以管網採樣點是否具 PVC 配水管區分，則具 PVC 配水管之致癌風險為 6.27×10^{-7} ，不具 PVC 配水管之致癌風險為 4.24×10^{-7} ，二者均小於 1.0×10^{-6} ，顯示均為可接受狀況。若就季節比較，春季致癌風險為全年的 2 倍，為 0.40×10^{-6} ，亦為可接受狀況。

表 6 各種塑化劑之健康風險評估參數

塑化劑	致癌等級	健康風險評估參數
DEHP	B2(可能人類致癌物)	致癌性:slope factor=0.014[1/(mg/kgbw/day)] 飲用水單位致癌風險= 4×10^{-7} (1/($\mu\text{g}/\text{L}$)) 非致癌毒性:RfD=0.02 mg/kgbw/day
DBP	D(無法分類為人類致癌物)	非致癌毒性:RfD=0.1 mg/kgbw/day 致癌性: $<0.02 \mu\text{g}/\text{Kgw} \cdot \text{Day}$ (加拿大個別研究)
DEP	D(無法分類為人類致癌物)	非致癌毒性:RfD=0.8 mg/kgbw/day
BBP	C(可能人類致癌物)	非致癌毒性:RfD=0.2 mg/kgbw/day

表 7 春季終身攝入量計算結果

單位: mg/Kgw*Day

塑化劑種類/水樣類別	淨水場原水	淨水場清水	管網水
DEHP	0	0	0.00004228
DBP	0.00001686	0	0
DEP	0	0	0
BBP	0	0	0

表 8 全年終身攝入量計算結果

單位: mg/Kgw*Day

塑化劑種類/水樣類別	淨水場原水	淨水場清水	管網水
DEHP	0	0	0.00002114
DBP	0.000008286	0	0
DEP	0	0	0
BBP	0	0	0

表 9 危害商數計算結果

塑化劑種類/水樣類別	淨水場原水	淨水場清水	管網水
DEHP	0	0	0.037
DBP	0.0029	0	0
DEP	0	0	0
BBP	0	0	0

2.非致癌毒性風險

非致癌風險危害商數(Hazard Quotient) HQ 等於 LDI(以平均濃度計算)除以 RfD，計算 4 種檢出塑化劑於各類水樣之危害商數，如表 9。

危害商數 HQ 均遠小於 1，表示均不會造成不良之非致癌性健康危害。但 DBP 於原水及 DEHP 於管網水高於其他。

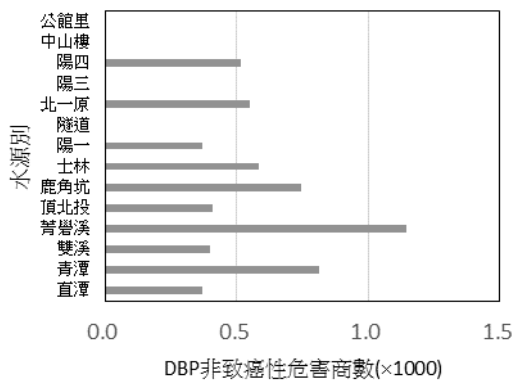


圖 8 個別水源 DBP 非致癌性風險比較

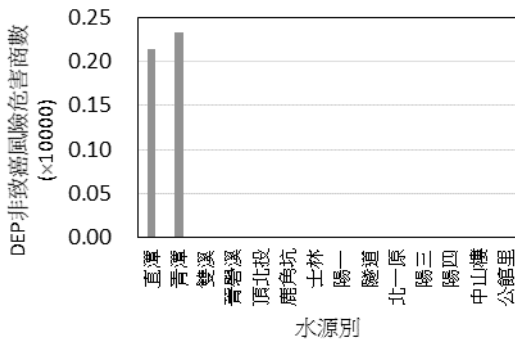


圖 9 個別水源 DEP 非致癌性風險比較

就個別原水而言，如圖 8 及圖 9，DBP 非致癌性健康風險，以青潭、鹿角坑及菁巖溪(備用水源)較高於其他水源；DEP 非致癌性健康風險，則以直潭及青潭高於其他水源。

若以管網採樣點是否具 PVC 配水管區分，則具 PVC 配水管之非致癌性危害商數為 0.00224，不具 PVC 配水管之非致癌性危害商數為 0.00152，二者均遠小於 1，顯示均為可接受狀況，具 PVC 配水管之非致癌性危害商數略大於不具 PVC 配水管者。就季節變化而言，春季枯水期有檢出 DBP 及 DEP 之水源之非致癌性風險均略大於夏季豐水期。

八、結論與建議

- (一)北水處轄管從淨水場原水、淨水場清水到供水管網全年春夏 2 季檢測調查 6 種塑化劑中，被檢出塑化劑物種有 DBP、DEP、BBP 及 DEHP 四種，原水於 DBP 有最高的檢出率，管網水則以 DEHP 及 DEP 檢出率較高。2 次檢測又以春季偏枯水期之檢出率較夏季豐水期為高。
- (二)原水 DBP 的檢出平均濃度與管網水 DEHP 之平均濃度均小於 1 µg/L；其餘塑化劑物種則均為 ND。
- (三)北水處所轄淨水場原水、淨水場清水、及管網水於 DEHP 之致癌風險均小於

1×10^{-6} ，為可接受狀況；有檢出的塑化劑 DEHP、DBP、DEP 及 BBP，在原水、清水及管網水之非致癌性危害商數均遠小於 1，亦為可接受狀況，水質安全優良。

(四)水源較高的 DBP 檢出率可能與水源區人為活動有關；管網水 DEHP 之檢出則與配水管使用 PVC 管有一定相關性，建議持續注意管材可能釋出 DEHP 塑化劑的現象。

(五)使用健康風險評估方式，可對非水質標準法規物質之檢驗結果進行評估及解讀，瞭解該暴露狀況下，人體致癌性及非致癌性健康風險，並可用於解釋及溝通該等檢驗結果。

in GCC. International journal of environment, chemical, ecological, geological and geophysical engineering, 2013 7(3), 141-146.

4. Fatoki Olalekan et al., Health risk assessment of plasticizer in wastewater effluents and receiving freshwater systems, www.intechopen.com.

5. Di(2-ethylhexyl)phthalate in drinking water, background document for development of WHO Guidelines for drinking water quality, 1996.

6. 張怡怡等, 飲用水中新興污染物之健康風險評估, 自來水會刊第 28 卷第 3 期, 25-34 頁

7. USEPA IRIS Assessment, <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/atoz.cfm>

8. TOXNET, <https://toxnet.nlm.nih.gov/>

9. ATSDR, <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=973&tid=204>

參考文獻

1. N. Dominguez-Morueco et al., Phthalate occurrence in rivers and tap water from central Spain, Science of the total environment, 2014, 500-501, 139-146.

2. Fatoki OS et al., Phthalate ester plasticizers in freshwater systems of Venda, South Africa and potential health effects. Water SA, 2010, 36(1), 117-126.

3. Motula M.M., Health risk assessment of PET bottles

作者簡介

薛志宏先生

現職：台北自來水事業處水質科科長

專長：水質管理、淨水處理

鍾佳宏先生

現職：台北自來水事業一級工程員

專長：水質檢驗

本刊 108 年「每期專題」

期別	主題	子題	時程
38 卷 第 4 期	數位水務	大數據供水管理、智能供水計量、智能供水調度、智能供水管網、智能供水服務等。	11 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

淨水污泥再利用於混凝土之研究

文/李育輯、駱尚廉

摘要

本研究在探討飲用水在處理過程中所產出之淨水污泥，其在一般廢棄物處理回收利用回面，可達到「零排放」及「資源化」為最終之目標，期能使國內之營建工程早日邁入永續發展之新里程。在淨水污泥添加小比例摻料製作混凝土試體，探討其在抗壓強度之影響。試體變數包括淨水污泥取代細粒料重量百分率（0%、20%、25%、30%）以及摻料佔淨水污泥重量百分比（0%、2%、4%、6%）於混凝土，本研究係將摻料之高石膏特性添加於高吸水率之淨水污泥，試驗結果顯示：在混凝土試體中淨水污泥取代量增加，會影響工作性以及抗壓強度；而摻料添加量增加，有助於增加抗壓強度。在淨水污泥中適量添加摻料以取代混凝土中之部分細粒料，具有工程實用性。

關鍵字：淨水污泥、水泥、細粒、混凝土、再利用

一、前言

台灣地區地小人稠，在原水濁度漸增且淨水標準門檻限制漸趨嚴格之前題下，對於日益龐大之淨水污泥量，僅採掩埋處理之傳統處理方式，實緩不濟急，故自來水事業單位如何在水處理過程中有效減低污泥產生量及終端污泥之資源化利用，均屬有待探討之課題。面對淨水處理後大量產出之棘手污泥，如何有效且妥善地回收再利用，為本次研究探討之核心課題。

在國內、外相關研究及實例推展驗證成果中，水質淨化所產生之淨水污泥性質單純，其再生利用之方式廣泛，許多資源化再利用技術已十分成熟（諸如植栽培養土、燒結製磚、燒結人工輕骨材、水泥原料、管溝回填料等）。處置方法雖均可有效處理污泥，惟其均面臨一定之困擾及處置量偏低之限制，屬難以大量使用之處置方法，本研究即是探討如何藉由製作混凝土製品方式，以有效大量處置淨水污泥，尋求最佳處置方式，以達到可供廣泛使用之目的，增加其應用層面及再利用範圍，如此將有利於淨水污泥資源化使用，並可藉由多元化再利用之理念，使得淨水污泥再利用有更多重選擇性。

二、淨水場污泥

(一)淨水場污泥處理現況

由於淨水污泥大部分屬天然物質，雖混凝劑含有鋁物質，然對生物並無明顯毒性。且相關研究針對淨水污泥進行 TCLP 重金屬溶出試驗，結果顯示，重金屬含量遠低於法定標準限值，故淨水污泥屬穩定無害之無機性污泥。在自然資源缺乏及廢棄物處置地日益難覓之雙重壓力下，以資源化方式對廢棄污泥進行再利用，勢將取代舊有採掩埋場為最終處置方式，此等材料運用可減少環境污染並達成廢棄污泥資源化再利用之目標。

目前自來水淨水場淨水污泥已被認定為一般事業廢棄物，故大都採掩埋方式處置，面對地狹人稠之環境現況，以及各地方

掩埋場容量已趨近飽合，且進場處理費用頗高。經濟部於民國 91 年 1 月 9 日依「廢棄物清理法」第 39 條規定，訂定發布「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」後，所屬事業可依法進行事業廢棄物再利用事宜。目前已有部分淨水場以申請個案或通案方式，著手進行淨水污泥資源化再利用工作。隨著相關技術之日臻成熟、法令之頒布及符合成本等條件下，資源化再利用成為未來淨水污泥處置方式之惟一途徑。目前北水處所產出之淨水污泥，在直潭淨水場部份與位於桃園縣俊行記磚窯股份有限公司合作，作為製磚原料使用，公館淨水場部份，目前與台灣水泥股份有限公司宜蘭廠合作，當作水泥生料使用。

(二)淨水污泥物化性質

淨水污泥資源化再利用如作為土木建築骨材時，須先了解污泥餅之物理與力學特性。根據康世芳（2001）文獻研究指出直潭淨水場淨水污泥餅顆粒粒徑細小，再經由滲透係數、比重、吸水率、含砂當量及土壤分類之試驗結果如表 1，說明淨水污泥之物理、力學特性，顯示為粒徑細小之粉粒與黏土類物質，具高塑性、高吸水率與低滲透性，於統一土壤分類法屬塑性粉土（MH）之無機土壤。

淨水污泥在化學成分分析部分，發現大部分的主成為氧化矽(SiO₂)與氧化鋁(Al₂O₃)，很接近天然土壤成分，可界定為黏土 (clay) 與粉 (silt) 類，其在利用的運用價值上，在污泥的主成分變動性不大，可以維持在利用上用品質的穩定性。

表 1 淨水污泥物理特性試驗結果

污泥基本性質	平時時期污泥	颱風時期污泥
塑性限度 (%)	52.20	50.22
液性限度 (%)	58.32	55.81
塑性指數	6.12	5.59
比重 (g/cm ³)	2.06	2.08
滲透係數 (cm/sec)	1.111×10 ⁻⁴	1.221×10 ⁻⁴
吸水率 (%)	73.87	77.07
含砂當量 (%)	17	22
AASHTO 土壤分類	A-5 (13)	A-5 (11)
統一土壤分類	MH	MH

(資料來源康世芳, 2001)

表 2 淨水污泥、水泥、固化劑化學成分比較(%)

	淨水污泥	水泥	摻料
SiO ₂	54.7	22.7	2.5
Al ₂ O ₃	24.1	4.4	0.4
Fe ₂ O ₃	6.9	4.5	0.2
CaO	0.5	63.6	31.4
MgO	1.3	1.5	2.0
SO ₃	0.6	2.0	-
Na ₂ O	0.6	-	-
K ₂ O	3.2	-	0.6
CaSO ₄	-	-	61.5

三、試驗計畫

本試驗計畫主要探討淨水污泥添加摻料取代部分細粒料後，對水泥砂水泥砂漿及混凝土性質之影響。其試驗項目包括：淨水污泥成分分析、摻料成分分析、水泥砂漿強度試驗、混凝土坍度試驗、混凝土抗壓試驗及毒性溶出試驗 (TCLP) 等。

(一)試驗材料、配比及試體實驗設計

本試驗使用之材料為淨水污泥、礦物摻

料、水、水泥、爐石、粗粒料、細粒料及附加劑，其性質分述如下：

淨水污泥-本試驗之淨水污泥取自北水處公館污泥處理廠所產出之淨水污泥，由於北水處兩處設有污泥廠之淨水場（直潭、公館），其水源同屬新店溪，故物化性質相近。

礦物摻料-本試驗所使用之礦物摻料係由友立環保企業有限公司提供，主要成分是氧化鈣（CaO）及石膏（CaSO₄），分粉狀及粒狀兩種，本試驗使用粉狀，外觀呈灰色粉末狀。

拌合水-本試驗拌合水為自來水，符合 CNS 13961 A2269 之規定，pH 值不得小於 5.0 或大於 8.0，且不含有機質、過量油脂或其他對混凝土及鋼筋有害之物質。

水泥-本試驗採用之水泥為卜特蘭 I 型水泥。

爐石-本試驗採用之爐石（水淬高爐爐渣粉）為中聯資源股份有限公司所生產，比重 2.88。

粗粒料-本試驗採用之粗粒料為天然

碎石級配料，比重為 2.67，吸水率為 1.5%，最大粒徑為 12.5mm。

細粒料-本試驗採用之細粒料為天然河砂，比重為 2.51，細度模數為 2.89，吸水率為 4.8%。

附加劑-本試驗採用 Type F，使用 TGC-A200M，添加量在 0.7%時，其減水率可達到 17%，其主要成分為羧酸高分子聚合物（Poly-carboxylic Acid）。

(二)混凝土配比設計

規劃以 210kgf/cm² 結構性混凝土為設計強度要求配比，以研究所使用淨水污泥含水率為 13%，為驗證比對，故修正增加淨水污泥含水率達 27%之還原用水量。主要變數配比設計為：以無添加摻料之淨水污泥取代部分細粒料，其取代量與細粒料重量比按 20%、25%、30%的三組配比為對照組，另添加摻料 0%、2%、4%、6%比例與淨水污泥製作混凝土圓柱試體以驗證淨水污泥取代結構性混凝土內細粒料之可行性。詳細各混凝土試體之混合組成比例如下表 3。

表 3 不同混凝土試體之混合組成比例比較

混合試體 ^a	C0S20 ^c	C0S25	C0S30	C2S20	C2S25	C2S30	C4S20	C4S25	C4S30	C6S20	C6S25	C6S30
水泥	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187
爐石	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228
水 ^b	248.7	253	257.3	248.7	253	257.3	248.7	253	257.3	248.7	253	257.3
附加劑	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
粗粒料	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001
細粒料	487	457	426	487	457	426	487	457	426	487	457	426
淨水污泥	122	152	183	122	152	183	122	152	183	122	152	183
摻料	0	0	0	2.44	3.05	3.65	4.87	6.09	7.31	7.31	9.14	10.96

^a所有的混凝土試體混合材料單位為公斤。

^b加水量基於添加之淨水污泥13%的含水量而換算調整。

^c在試體符號表達部分，C指礦物摻料的添加比例，S指污泥添加取代細粒的比例，如C4S30即添加4%摻料與污泥取代30%細粒的試體。

(三)混凝土試體製作及試驗

本試驗各組配比分別製作 $\phi 10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 圓柱形試體 12 個，進行抗壓強度試驗、毒性溶出試驗 (TCLP)。依本試驗配比設計，每種配比製作 12 顆試體，共有 12 種配比，總共製作 144 顆試體，約需 0.23 m^3 的預拌混凝土量。在淨水場中選取之淨水污泥經檢測其含水率為 13%，而前人配比污泥重量係以含水率 27% 時之污泥重為準，故先行將污泥還原至含水率 27%，並繼續調水攪拌至黏稠狀泥漿。當污泥加水攪拌還原成黏稠狀泥漿後，再添加摻料及附加劑 (高性能減水劑 Type F) 混合攪拌，至轉變為流動狀之泥漿水。完成上述程序後，隨即將其餘料源，即水泥、爐石、粗粒料、細粒料、及水等，倒入拌合機內先行拌合均勻後，再倒入已完成之泥漿水，繼續拌合成混凝土狀態。

完成拌合之混凝土逐一倒入模具，再經搗實、抹平後即完成圓柱試體，每個試體直徑 10 公分，高度 20 公分。本次試驗共計 12 種配比，各配比均製作 12 顆混凝土圓柱試體，共計 144 顆混凝土圓柱試體。所有混凝土圓柱試體完成後，先靜置一天待具備基本強度後，移至石灰水養護池內完成養護工作，試體達到設定齡期，便從養護池中取出，施作抗壓強度試驗。

本試驗混凝土試體係按 CNS1230 之規範製作試體，並按美國試驗材料學會, ASTM C39 (2004) 之規定進行抗壓強度試驗。完成之試體均浸泡於飽和石灰水中養護，並分別在水泥砂漿試體 3 天、7 天及混凝土試體 7 天、14 天、28 天養護期時，將試體取出進行抗壓強度試驗。

四、實驗結果與分析

(一)污泥粒徑分析與土壤有機質試驗

根據 CNS 386 (2002) 將淨水污泥以 105°C 烘乾 2 小時後，以不同網目大小的標準篩篩分污泥粒徑大小的分佈得到下列的污泥粒徑分佈圖(圖 1)，發現淨水污泥的粒

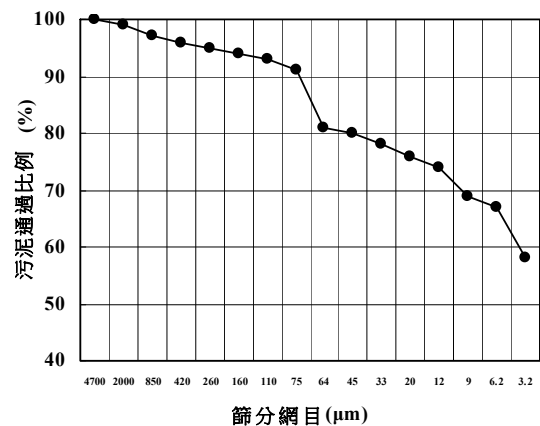


圖 1 烘乾後的淨水污泥粒徑分佈圖

徑分佈十分的精細，平均烘乾後污泥粒徑小於 $3.2\text{ }\mu\text{m}$ ，定義上小於 200 號篩 ($75\text{ }\mu\text{m}$) 而視為細粒土壤，主要是因為淨水污泥的來源為天然水體中的懸浮顆粒，通常為粒徑較細小礦物粒子為主。另外在土壤有機質的部分，經送測中興大學土壤系檢驗結果，土壤有機質約 3.6%，較一般土壤平均有機質含量約 1-2% 稍高，但與廢水污泥高達 20-40% 的有機質比較，淨水污泥的組成主要為粒徑細小無機礦物。

(二)抗壓強度試驗

抗壓強度試驗為評估混凝土力學性質之重要指標，本實驗皆以典型 210 kgf/cm^2 結構性混凝土需求為設計強度要求配比。在實驗前需先決定適當的水膠比 (water-to-binder ratio, W/B)，一般混凝土水膠比典型的設定值

約在 0.4-0.5 左右，但此次試驗將水膠比設定值在 0.62，主要在克服淨水污泥具有極高的吸水性(absorption capacity)，而原本基於 0.62 的水膠比以不添加摻料與淨水污泥(C0S0)為控制(control)對照組，但此配比混凝土發現並無法在混凝土養護過程形成可試驗的試體，另在添加淨水污泥取代細粒料部分則發現，取代比例超過 30%後，試體的強度變的極差，故以 20%、25%、30%淨水污泥取代細粒料之混凝土試體為實驗組。

在圖 2(a)淨水污泥取代細粒料(20%、25%、30%)之混凝土試體抗壓強度試驗中，其抗壓強度隨取代量之增加而呈現遞減現

象，且隨污泥取代量之增加，抗壓強度齡期增加之趨勢亦變緩，代表污泥的存在會減少最終的抗壓強度並減緩混凝土在養護期間抗壓強度增加的過程，可能的原因在於淨水污泥中仍有約 3.6%的有機質，根據文獻(Lin et al., 2009; Mangialardi et al., 1998; Pan et al., 2003)，有機質與重金屬的存在，會減緩水泥硬化(hardening)的作用，而反應在 30%淨水污泥取代細粒料試體 C0S30 的最終抗壓強度為 202 kgf/cm² 低於典型 210kgf/cm² 結構性混凝土需求。根據美國驗材料學會混凝土材料規範(ASTM C117, 2004)，細粒料的粒徑規格中要求通過 200

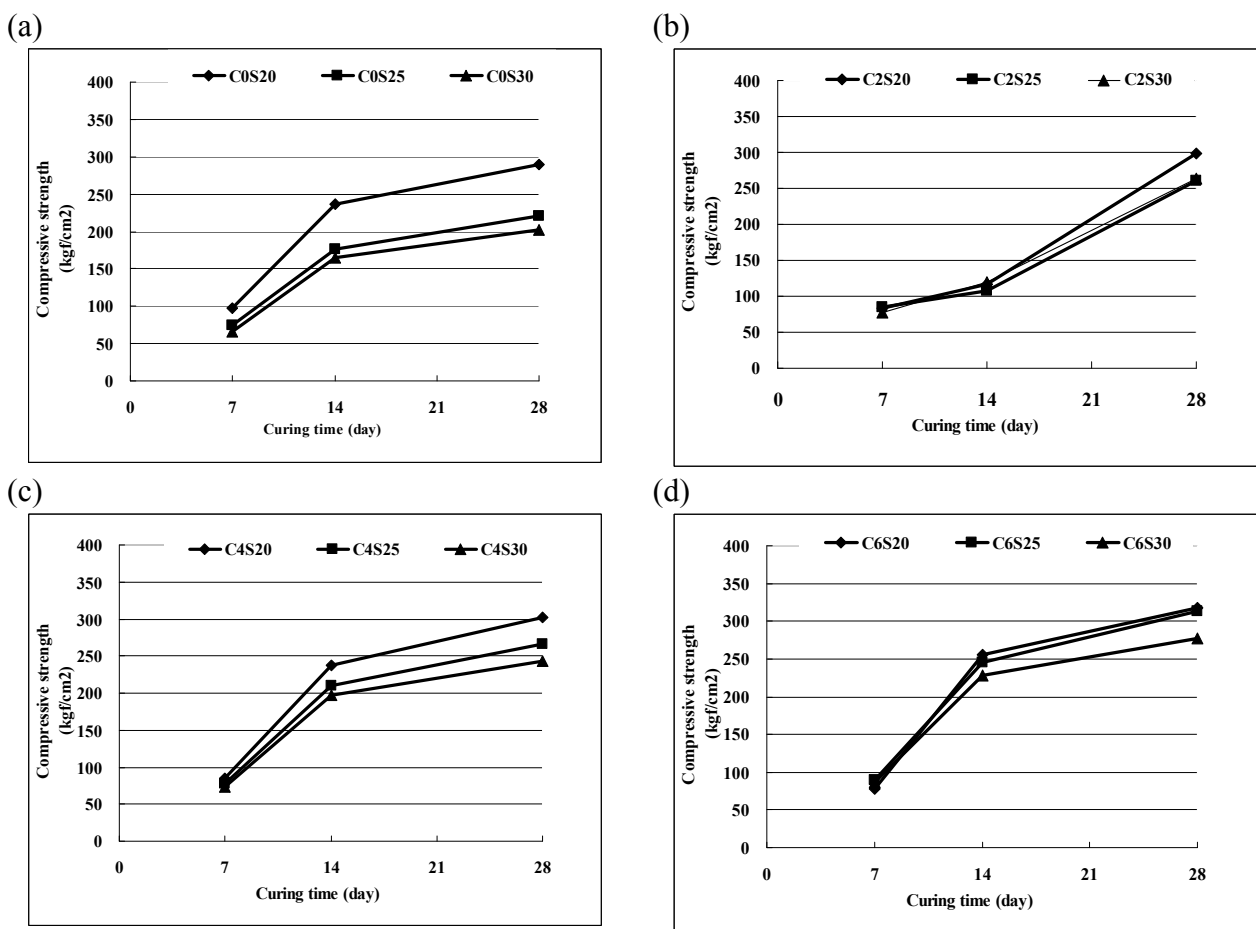


圖 2 不同混凝土試體之單軸抗壓強度(compressive strength, kgf/cm²)與養成時間(curing time)的關係

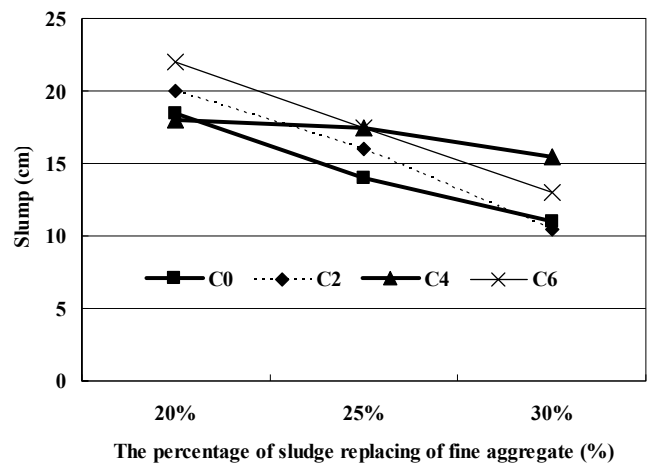
號篩 (75 μ m) 的粒徑需少於 5%，而在圖 1 烘乾後的淨水污泥粒徑分佈圖中，有 91% 的淨水污泥小於 75 μ m，因此在作用上會有太多的細小顆粒包覆在水泥顆粒的表面，因此減少了水泥與其他配料間的鍵結作用，減低混凝土試體在完成養護後抗壓強度的形成。

在添加 2、4 與 6% 的摻料部分其抗壓強度的變化顯示於圖 2(b)、2(c) 與 2(d)。很明顯的發現摻料的添加可以有效的增加試體的抗壓強度，經過 28 天的養護期後，所有的試體皆明顯的大於典型 210kgf/cm² 結構性混凝土需求，而且摻料的添加量越大者，其抗壓強度的增加也隨之變大，舉例來說，添加 6% 的添加摻料的試體 C6S25 之抗壓強度為 313.8 kgf/cm² 較未添加摻料的試體 C0S25 試體的抗壓強度增加了 42.6%，主要的原因在於試體摻料的主要成分為石膏(gypsum)與石灰(lime)，可以有效的減緩淨水污泥高吸水性的作用，而強化混凝土硬化的過程。構性混凝土需求，而且摻料的添加量越大者，其抗壓強度的增加也隨之變大，舉例來說，添加 6% 的添加摻料的試體 C6S25 之抗壓強度為 313.8 kgf/cm² 較未添加摻料的試體 C0S25 試體的抗壓強度增加 42.6%，主要的原因在於試體摻料的主要成分為石膏(gypsum)與石灰(lime)，可以有效的減緩淨水污泥高吸水性的作用，而強化混凝土硬化的過程。

(三) 坍度(Slump)試驗

對於不同淨水污泥與摻料添加混凝土的坍度試驗結果呈現於圖 3 中，而所有混凝土試體的坍度試驗則是依據美國試驗材料學會 (ASTM C143, 2004) 規範操作。一般坍度常見用於作為混凝土的工作度(workability)

的指標，太低的坍度代表混凝土具高塑性(plasticity)，而太高的坍度代表混凝土



淨水污泥添加取代細粒料的百分比

圖 3 不同淨水污泥與摻料添加混凝土的坍度

土具高液性(liquidity)，皆不利於混凝土的實際操作應用。一般適當的混凝土坍度範圍約在 14-26cm 左右，而當淨水污泥存在於混凝土時，會使坍度呈現減少的現象，淨水污泥且添加量越大，在混凝土坍度的減少就越明顯，此現象應與淨水污泥本身的高塑性特質有關。在另一方面摻料的添加卻反而使混凝土坍度呈現增加的現象，所以在圖 3 不同淨水污泥與摻料添加混凝土的坍度試驗結果大多符合適當的混凝土坍度範圍在 14-26cm 內，說明少量的摻料添加於混凝土不但有助於增加機械抗壓強度，也可以增加混凝土的坍度與工作性。

(四) 毒性特性溶出試驗(TCLP)

依據 NIEA R201.13C (2004) 毒性特性溶出試驗(toxicity characteristic leaching procedure, TCLP) 方法測試淨水污泥與混凝土試體的實驗結果呈現於表 4，在原本的淨水污泥溶出試驗結果顯示，污泥的重金屬含量並不高，

顯示污泥所屬河川水體本身的重金屬含量並不高，應該無特定污染源，再比較含 6% 摻料與 30% 淨水污泥取代細粒料試體 C6S30 的 TCLP 溶出試驗結果顯示，所含的重金屬含量又更低，不論是淨水污泥或混凝土試體的實驗結果皆遠遠低於環保署法規標準，實際應用上並無金屬溶出的疑慮。一般來說波特蘭水泥在硬化的過程會固定與大部分的重金屬，或與重金屬形成氫氧化物沈澱，達到重金屬固定化(immobilization)與穩定化(stabilization)的目的(Chang, et al., 2007; Togerö, 2006)。

表 4 淨水污泥與混凝土試體 C6S30 的 TCLP 結果與對應的法規標準

	淨水污泥	混凝土試體	法規標準
Hg	<0.0005	<0.0005	0.2
Cd	0.020	<0.0057	1.0
Se	<0.0045	<0.0045	1.0
Pb	0.287	0.085	5.0
Total Cr	<0.0246	<0.0246	5.0
Cr6+	<0.0027	<0.0027	2.5
As	0.004	0.001	5.0
Ag	0.026	<0.008	5.0
Cu	<0.0044	<0.0044	15.0

(五)經濟分析

由於台灣地區地狹人稠，掩埋場空間有限，每公噸的污泥掩埋成本高達新台幣 2685 元，而再利用製成水泥或紅磚原料則因運輸成本而處理費用達 849-786 元/每噸，若能作為混凝土原料，用於城市附近工地，可以減少處理成本，再者以淨水污泥取代細粒料，由於在台灣細粒料皆開採於天然河川砂

石，每噸單價更高達 1450 元，因此不但解決污泥處理的問題，且可以減少對台灣天然河川的環境衝擊並兼具極高的經濟效益。

表 5 淨水污泥不同處理費用之比較(單位:新台幣元)

處理方式	運輸費	處理費	總費用
掩埋	475	2210	2685
製成水泥	849	-	849
製成紅磚	786	-	786
製成混凝土	483	-	546

五、結論

混凝土配比中將淨水污泥添加適量摻料取代部分細粒料後，其抗壓強度可達設計強度 210kgf/cm^2 以上，尤其在摻料添加量 6% 時，其抗壓強度可高達 313kgf/cm^2 較對照組 CA0S25 之強度 220kgf/cm^2 提高 42% 以上，可知摻料含量高時，強度相對增加，摻料含量較少時，強度相對降低，又以設計強度比較，CA6S20 抗壓強度為 317kgf/cm^2 ，更高達 50% 以上增量，顯示以摻料添加於淨水污泥取代混凝土中之細粒料，具有工程實用性。

本研究結果顯示，摻料添加於淨水污泥取代混凝土中之部分細粒料，具有工程實用性，並具有下列相關之附屬效益：(1) 在政策面—可達到落實保護土地資源、節約能源、資源利用與改善環境等責任，以及追求永續發展與達成循環型社會的目標。(2) 在經濟面—淨水污泥可就近在台北縣市預拌混凝土廠或預鑄廠清運處理，較目前遠運花蓮或桃園龜山，應更有利於市場之競爭優勢。(3) 在節能減碳面—依目前遠運每年耗

油量約 61 公秉，推估可減少之溫室氣體排放量約每年 167 公噸，更達成節能減碳之效益。

參考文獻

- 1.康世芳，「淨水污泥餅再利用技術調查及應用於台北自來水事業處淨水場可行性評估」，台北自來水事業處委託研究計劃研究報告書，2001.
- 2.ASTM C39, (2004). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testing and Materials.
- 3.ASTM C117 - 04, (2004). Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, American Society for Testing and Materials.
- 4.ASTM C143, (2004). Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete, American Society for Testing and Materials.
- 5.Chang, F. C., Lo, S. L., Lee, M. Y., Ko, C. H., Lin, J. D., Huang, S. C Wang, C. F., (2007). Leachability of metals from sludge-based artificial lightweight aggregate. J. Hazard. Mater. 146, 98-105.
- 6.CNS 386, (2002). Standard for test sieves, National Standards of the Republic of China.
- 7.CNS 1230, (2004). Standard Specification for Concrete Aggregates, National Standards of the Republic of China.
- 8.Lin K. L., Lin D. F., Chao. S. J. (2009) Effects of Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash Slag on the Strength and Porosity of Slag-Blended Cement Pastes. Environ. Eng. Sci. 6, 1081-1086.
- 9.Mangialardi, T., Piga, L., Schena, G., Sirini, P., (1998) Characteristics of MSW Incinerator Ash for Use in Concrete. Environ. Eng. Sci. 4, 291-297.
- 10.NIEA R201.13C (2004). Toxicity Characteristic Leaching Procedure, Taiwan, E.P.A.
- 11.Pan, S.C., Tseng, D.H., Lee, C.C., Lee, C., (2003). Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties. Cement and Concrete Res. 33, 1749-1754
- 12.Togerö, Å. (2006) Leaching of Hazardous Substances from Additives and Admixtures in Concrete Environ. Eng. Sci.23, 102-117.

作者簡介

李育輯先生

現職：臺北自來水事業處工程師

專長：環境工程、淨水工程與環境化學

駱尚廉先生

現職：台灣大學環境工程研究所特聘教授

專長：環境工程、水及廢水處理與環境數學

淨水污泥產製混凝土之可行性研究

文/陳豪吉、洪世政、陳威豪

摘要

本研究在探討自來水公司淨水場淨水污泥產製混凝土之可行性，選定自來水公司北部大滴，中部林內及南部南化淨水場的淨水污泥，彙整分析淨水污泥之物理性質與化學成分，進行淨水污泥產製混凝土技術研究。本研究共完成 3 座淨水場污泥的乾燥及碎解處理、淨水污泥樣品基本性質分析、4 種污泥取代天然粒料 20%、40%、60%、80%) 及 3 種抗壓強度(140 kgf/cm²、175 kgf/cm²、210 kgf/cm²)的污泥混凝土配比設計、抗壓強度試驗、長度變化試驗及耐久性試驗。

由抗壓強度試驗結果可知，林內場及南化場各式混凝土配比之抗壓強度於 28 天齡期可達強度設計的目標值，齡期 56、90 及 180 天之抗壓強度仍可保持些微成長，大滴場淨水污泥混凝土試體於水中養護過程中會溶出污泥顆粒，而且有機不淨物含量檢測結果顯示，大滴場淨水污泥有機物含量較高。此結果說明大滴淨水污泥混凝土抗壓強度較低之原因，在應用上須注意。

體積穩定性試驗結果顯示，隨著抗壓強度的增加，混凝土之長度收縮量大致上隨之減少，惟隨著水泥用量的增加，混凝土之長度收縮量亦會增加，尤其是污泥取代量 60% 者更為明顯。綜合試驗結果可知，考慮體積穩定性時，淨水污泥取代量不宜大於 40%。

耐久性試驗結果顯示，污泥取代量較高時，較低強度污泥混凝土耐久性較差，置於

水中環境是不利的，但取代量達 40%、60% 及 80% 配比之戶外養護之抗壓強度則較高，此結果亦顯示，若污泥混凝土置於一般環境下，還是具有耐久性；在抗壓強度 175 及 210kgf/cm² 級者，亦有相同試驗結果，均以戶外養護之抗壓強度較高。總結而言，淨水污泥混凝土若是長期浸泡於水中或反覆承受日曬雨淋，以污泥取代量於 40% 以內時對其強度的影響較不明顯。

關鍵字：淨水污泥、混凝土、抗壓強度、耐久性

一、前言

自來水公司淨水場淨水污泥年產量約 18-20 萬公噸，其處置方式絕大部分進行再利用處置，僅東部及澎湖地區以掩埋方式處理，目前淨水污泥再利用種類以製磚、培養土為主及少量水泥原料等三種。再利用成培養土部分除需取得經濟部再利用許可外，尚受到農委會 97 年 3 月 27 日公告之「肥料種類品目及規格」相關規定，需再取得「肥料登記證」，方可進行培養土(有機栽培介質)的再利用，再利用資格取得相當不易；而製磚業因時代變遷，產業逐步的萎縮，造成產量增加不易，且取得紅磚個案或通案再利用許可家數僅約十家，造成部分淨水污泥再利用發包不易暨再利用成本上升，自來水公司目前正積極多面向開發污泥再利用項目，於民國 102 年辦理「淨水污泥冷結固化再利用之可行性研究」^[14]委託研究計畫，利用淨水污泥成功拌製 CLSM 及製作成高壓地磚，期

能尋求淨水污泥再利用新的方向，加速污泥再利用管道、降低污泥再利用費用。

國內外雖有將水庫淤泥、河川底泥等固化成工程所需之原料或製品，但對於淨水污泥固化再利用的案例仍然不多，尤其淨水污泥產製混凝土的案例國內尚無相關實績，若能採用施作簡易的水泥系固化技術，經由適當的配比設計將淨水污泥固化成一定強度的混凝土產品，在節能、減碳及低成本等基礎下擴展淨水污泥再利用的價值。

二、研究背景

(一)淨水污泥再利用現況

原水在淨水處理廠經混凝、膠凝、沉澱及過濾等程序形成可供民生使用之自來水。在此過程中，為去除水中微量有機物、微細濁度或懸浮固體 (suspended solids, SS)，於快混池添加硫酸鋁或多元氯化鋁 (Polyaluminum chloride, PACL) 等混凝劑，經由適當攪拌形成較大的膠羽，較重的沉降性膠羽經由沉澱池中沉澱去除，而未在混凝沉澱中去除的懸浮性膠羽及其他物質，則經由快濾池過濾去除，快濾池中之物質再經由反沖洗並透過廢水沉澱池重力沉降濃縮之後與沉澱池污泥合併處理，即為一般所稱的淨水污泥，經由脫水之後則形成淨水污泥餅^[1-9]。

國內自來水事業單位共有兩處，分別為台北自來水事業處及台灣自來水公司。表 1 為自來水公司公布 103 年~107 年淨水污泥再利用的數據^[10]，這 5 年裡所消耗的淨水污泥量分別為 193,689 公噸、200,876 公噸、179,960 公噸、152,530 公噸及 182,007 公噸，淨水污

泥的消耗量與 99 年度的數據 (199,009 公噸) 相較未有明顯成長，可見有關淨水污泥再利用的推廣仍待持續努力，其再利用的方式也應繼續開發。

表 1 台灣自來水公司 103~107 年度淨水污泥再利用統計

年度	污泥量(公噸)	再利用種類及方式
103	193,689.13	1.公告再利用(水泥原、紅磚原料) 2.個案或通案再利用(培養土)
104	200,876.44	
105	179,960.21	
106	52,530.50	
107	182,007.09	

(二)淨水污泥特性

淨水污泥之性質隨著原水水質、混凝劑種類及混凝操作方式等之不同而異。主要成分包括懸浮固體、鐵鋁氫氧化物、混凝劑、水分及微量的有機物。化學成分主要以 SiO₂ 為主，其中 SiO₂ 來自於原水中的砂土礦物(石英)，而 Al₂O₃、Fe₂O₃ 為源自於黏土礦物及混凝加藥的鋁系或鐵系混凝劑。另外，還包括微量的 K₂O、Na₂O、CaO、MgO 及硫酸鹽類等。表 2 為近年相關研究針對淨水污泥成分之分析結果，顯示在固定水源下，污泥之化學組成變化並不大^[8]。目前雖然國內缺乏各地淨水場污泥成分資料，然而依推斷，污泥中 Al₂O₃、Fe₂O₃ 的含量分佈可能隨混凝劑的不同有較明顯的改變。

此外，隨著原水水質的不同，淨水污泥中有機物含量也會不同。若原水水質來自潔淨的集水區，有機物含量將相對較低，無法提供生物反應，故淨水污泥不易腐敗，亦不



表 2 淨水污泥的化學成分表

參考文獻 ^a	化學組成 (%) ^b						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
劉文瑞 (2002) ^c	52.75 ^c	20.15 ^c	6.75 ^c	0.3 ^c	1.86 ^c	0.872 ^c	3.69 ^c
羅雅舍 (2002) ^c	45 ^c	20.94 ^c	0.05 ^c	0.22 ^c	1.57 ^c	0.51 ^c	3.44 ^c
林聖襄 (2003) ^c	51.24 ^c	24.93 ^c	6.05 ^c	0.19 ^c	1.36 ^c	0.73 ^c	2.85 ^c
康世芳 (2001) ^a	52.37 ^c	24.23 ^c	6.49 ^c	0.37 ^c	1.83 ^c	— ^c	— ^c
康世芳 (2001) ^b	59.93 ^c	19.32 ^c	6.75 ^c	0.52 ^c	2.12 ^c	— ^c	— ^c
謝寶雲 (2001) ^c	53.57 ^c	20.92 ^c	6.63 ^c	0.29 ^c	1.84 ^c	— ^c	— ^c
林忠逸 (2003) ^c	54.47 ^c	29.12 ^c	7.25 ^c	0.93 ^c	1.12 ^c	0.67 ^c	3.55 ^c

備註：a：平時；b：颱風；c：為平鎮淨水場，其餘為直潭淨水場。

產生好氧、厭氧等消化反應。淨水污泥本身 pH 值約 6.5 左右屬中性污泥，在此範圍內重金屬物質不易溶出，且淨水污泥因水質來源乾淨穩定，在淨水過程中所添加的混凝劑性質單純，故污泥中重金屬含量並不高。淨水污泥之 TCLP 含量遠低於法定標準，屬於一般事業廢棄物，故淨水污泥屬於穩定無害的無機性污泥[1-3,8]。影響污泥含水率的因素很多，然而淨水污泥由於原水性質單純，污泥含水率主要視混凝劑的使用與脫水的方式有著明顯的不同。

一般來說，由於添加鐵鹽混凝劑所產生的膠羽密度較高、沉澱較快，所以鐵鹽污泥含水率最低。添加硫酸鋁及 PACl 所生成鋁鹽污泥含水率較高，但是由於鋁鹽混凝劑價格低廉可大量使用，又適合各種水質且不易增加色度等優點，而廣為各水廠所採用^[8]。

(三) 淤泥於混凝土之應用

以往文獻^[11]研究指出，使用水泥及兩種固化劑對石門水庫淤泥進行固化，14 天齡期淤泥固化土體的強度可超過 40kgf/cm²，石門水庫淤泥潔淨，有機質含量較少，固化效果較好，淨水污泥與水庫淤泥性質相近，利用水泥系固化方式應可獲得不錯品質的無筋

混凝土產品。文獻^[12]利用石門水庫淤泥固化成 175kgf/cm²、210 kgf/cm² 及 245 kgf/cm² 等三種抗壓強度的無筋混凝土應用於混凝土方塊及消波塊(如圖 1 和圖 2 所示)進行探討，研究成果顯示，此類混凝土製品之晚期強度較 28 天齡期之強度有所提升(平均強度提升約 7%~22%)，且由溶出試驗驗證此類混凝土製品符合環保法規要求；另混凝土塊和消波塊試體於 28 天齡期之抗壓強度符合混凝土工程施工規範與解說(土木 402-94a, 2007)內 17.2.2 條規定，證實水庫淤泥固化製成混凝土塊具有高度可行性，而該研究之水庫淤泥取代 75%~85%之天然細粒料，約佔總重之 20%~24%，對水庫淤泥處理量有一定之貢獻。

圖 1 水庫淤泥混凝土方塊^[22]圖 2 水庫淤泥混凝土消波塊^[22]

文獻^[13]採用台北市自來水廠的淨化污泥進行固化研究，以評估淨水污泥應用於建築材料之可行性，因所用污泥平均粒徑小於 3.2 μm ，顆粒極為細小，添加量越多，所拌製的污泥混凝土抗壓強度越差，經由調整不同水泥量及污泥添加量（最高取代天然細粒料的 30%），並搭配固化劑的使用，製作而成的污泥混凝土坍度為 14 ~ 26 cm，抗壓強度達 210 kgf/cm^2 ，毒性特性溶出試驗 (TCLP) 檢測結果亦符合規定，已具有應用於混凝土製品的條件。文獻^[14]曾利用自來水公司淨水污泥成功拌製 CLSM 及製作成高壓地磚，CLSM 的抗壓強度介於 50 kgf/cm^2 ~ 75 kgf/cm^2 之間，符合 CLSM 之工程需求，其中淨水污泥取代天然細粒料的比例以 30%與 40%最能符合 CLSM 之需求；在利用淨水污泥產製高壓擠製地磚方面，其配比之污泥添加量可達水泥用量的 100%與 115%，抗壓強度達 232 kgf/cm^2 ~ 309 kgf/cm^2 ，符合工程對高壓地磚這項材料之強度性能要求。

文獻^[15]探討白河水庫淤泥取代天然細粒料對混凝土抗壓強度及品質的影響，以 0%、25%、50%、75%、100%的水庫淤泥取代天然細粒料比例為配比變數，混凝土的水灰比值固定為 0.575，並藉由氯離子電滲透試驗解析淤泥混凝土耐久性變化。試驗結果顯示，淤泥混凝土坍度值隨著水庫淤泥取代率增加而降低，惟均在其設計坍度 $18\pm 5.3\text{cm}$ 的範圍內；抗壓強度也隨著淤泥取代率增加而降低，以 28 天齡期為例，0%、25%、50%、75%、

100% 取代率之平均抗壓強度分別為 725.6 kg/cm^2 、447.5 kg/cm^2 、397.8 kg/cm^2 、273.7 kg/cm^2 和 235.7 kg/cm^2 符合結構混凝土強度要求。

由上述國內外研究案例可知，採用水泥系固化技術將水庫淤泥或淨水污泥產製成混凝土應具有可行性。

三、研究方法

自來水廠污泥經脫水處理後會形成結塊，須先經烘乾及粉碎使其恢復成乾燥的單一顆粒，方可用於拌製混凝土。在拌製混凝土時，所需用水量考慮一般污泥經脫水處理後的含水量約在 50%，因此計算所需的用水量以污泥含水量 50%實為基準，部分配比會添加化學摻料(強塑劑)以降低用水量。本研究污泥混凝土配比如表 3 至 5 所示。

本研究配製 140 kgf/cm^2 、175 kgf/cm^2 及 210 kgf/cm^2 三種抗壓強度的淨水污泥混凝土規劃四種淨水污泥用量，其取代砂石之重量百分比分別為 20%、40%、60%及 80%，並另外製作無取代量(0%)之配比為對照組。細粒料 S.S.D.比重 2.63，吸水率 1.31%，F.M 為 2.93。粗粒料取三分石，S.S.D.比重 2.60，吸水率 1.10%。大湳淨水場污泥，比重 1.45，含水率 40.2%；林內淨水場污泥，比重 2.63，含水率 5.3%；南化淨水場污泥，比重 2.10，含水率 27.6%。各場污泥有機質含量經燒失量試驗檢測，分別為大湳場約 15%、林內場約 9%、南化場約 15%。

表 3 大滴污泥無筋混凝土配比

試體編號	水灰比	水泥	三分石	污泥(W=50%)		天然細粒料	化學摻料	水
	w/c			kg				
					乾燥污泥	水		
DC140S00	0.83	262	986	0	0	854	0	217
DC140S20	0.83	286	882	92	92	763	2	145
DC140S40	0.83	290	691	172	172	631	3.6	68
DC140S60	0.83	374	659	297	297	554	5.6	12
DC140S80	0.94	399	522	374	374	440	5.8	1
DC175S00	0.78	297	969	0	0	816	0	230
DC175S20	0.78	372	994	113	113	836	1.4	176
DC175S40	0.78	390	849	220	220	715	2.7	85
DC175S60	0.71	402	706	278	278	595	6.5	7
DC210S00	0.65	333	982	0	0	799	1	216
DC210S20	0.65	372	896	90	90	728	2.1	152
DC210S40	0.65	402	789	179	179	641	4.2	82
DC210S60	0.65	433	689	267	267	560	6	14

*符號說明：D 代表大滴、C140 代表抗壓強度 140 kgf/cm²、S20 代表污泥添加量 20%

表 4 林內污泥無筋混凝土配比

試體編號	水灰比	水泥	三分石	污泥(W=50%)		天然細粒料	化學摻料	水
	w/c			kg				
					乾燥污泥	水		
LC140S00	0.83	262	986	0	0	854	0	217
LC140S20	0.83	283	870	90	90	753	1.3	144
LC140S40	0.83	308	773	181	181	669	3.2	74
LC140S60	0.83	386	679	306	306	571	5.6	13
LC140S80	0.94	446	581	417	417	490	5.8	1
LC175S00	0.78	297	969	0	0	816	0	230
LC175S20	0.78	327	873	99	99	734	1.6	155
LC175S40	0.78	356	775	201	201	653	3.2	77
LC175S60	0.71	386	679	268	268	571	5.1	6
LC210S00	0.65	333	982	0	0	799	1	216
LC210S20	0.65	361	869	88	88	707	2.1	146
LC210S40	0.65	394	773	175	175	629	4.2	81
LC210S60	0.65	426	676	263	263	550	6	14

*符號說明：L 代表林內

表 5 南化污泥無筋混凝土配比

試體編號	水灰比	水泥	三分石	污泥(W=50%)		天然細粒料	化學摻料	水
	w/c			乾燥污泥	水			
		kg						
NC140S00	0.83	262	986	0	0	854	0	217
NC140S20	0.83	281	868	91	91	752	1.5	144
NC140S40	0.83	308	770	178	178	667	3.1	76
NC140S60	0.83	340	599	270	270	504	5.1	11
NC140S80	0.94	383	500	358	358	422	5.6	1
NC175S00	0.78	297	969	0	0	816	0	230
NC175S20	0.78	322	862	98	98	725	1.6	153
NC175S40	0.78	347	755	196	196	635	3.2	75
NC175S60	0.71	387	680	268	268	573	5.7	8
NC210S00	0.65	328	966	0	0	786	1	213
NC210S20	0.65	361	869	88	88	707	2.3	146
NC210S40	0.65	394	773	175	175	629	4.3	81
NC210S60	0.65	426	676	263	263	550	7.1	14

*符號說明：N 代表南化

本研究採用強制式水平雙軸拌和機大量拌製混凝土，拌和完成後先量測其新拌性質（坍度及單位重），並澆鑄圓柱試體（ φ 100×200 mm 及 φ 150×300 mm）及長度變化方形試體（75×75×285 mm）。試體置於養護室中養護，直到試驗齡期前一天才取出，以進行抗壓強度試驗及體積穩定性試驗。

有關淨水污泥混凝土性質之試驗方法，依照 ASTM C192 之規定進行，試驗齡期分別為 1 天、7 天、28 天、56 天及 180 天（每一齡期取 3 個試體）。體積穩定性試驗則參考 CNS 14603 試驗法進行，量測齡期分別為 1、3、28、56、90 及 180 天。另考量混凝土

的耐久性，本研究參考文獻^[12]之浸水性試驗方式進行耐久性試驗，試驗方式係將試體養護 28 天後，以 6 顆試體為一組，3 顆採室外自然放置，另 3 顆則浸入水槽，經過 150 天的齡期後，觀察其外觀變化並進行抗壓試驗，檢驗淨水污泥混凝土長期浸泡於水中及反覆承受日曬雨淋對其強度的影響。

四、成果分析與討論

(一)淨水污泥混凝土新拌及硬固性質

為取得標準化試驗結果，在拌製成混凝土前會先將自來水廠污泥烘乾及粉碎，使其呈現乾燥的粉狀顆粒。各式混凝土配比坍度在減水劑效能的有效掌握下，混凝土的坍度

均可控制在 20cm 左右。圖 3 為新拌單位重試驗結果。一般常重混凝土的單位重約在 2300kg/m³ 左右，由於天然粒料的比重略高淨水污泥，故隨著污泥取代量的增加，污泥混凝土的單位重有減少的趨勢，當污泥取代量達 80% 時，混凝土的單位重將降低至在 2100kg/m³ 左右。試驗結果顯示，因為淨水污泥之添加，將導致淨水污泥混凝土的單位重將降低，有利於構造物之呆載重降低。

圖 4 為大瀆淨水污泥混凝土抗壓試驗結果。由圖中可看出，三個強度等級配比之強度發展仍係依齡期增加而增加，惟水泥固結效果不佳，早齡期 (1 天、7 天) 的抗壓強度較低，污泥取代天然粒料 60%、80% 之配比幾乎沒有強度。由圖中亦可看出，各組強度仍然不符合設計目標強度，唯有污泥取代天然粒料 20% 者，可以在 28 天後有合宜之強度成長，因此建議採用大瀆淨水場污泥拌製混凝土時，污泥取代天然粒料的量不宜超過 20%，否則需降低水灰比 (多加水泥) 才可使混凝土符合 28 天齡期抗壓設計目標，惟此作法將增加混凝土的成本，不利於混凝土的推廣應用。

為了解是否因為淨水污泥有機不淨物含量造成強度之影響，本研究針對三場淨水污泥進行淨水污泥有機不淨物含量檢測，經過標準顏色溶液及有機色板比較判讀之結果，大瀆場淨水污泥接近有機色板編號 5，較標準顏色溶液顏色深。由上述淨水污泥中有機不淨物含量試驗結果可知，有機物含量最高者為大瀆淨水污泥。此結果可說明大瀆

淨水污泥抗壓強度較低之原因。

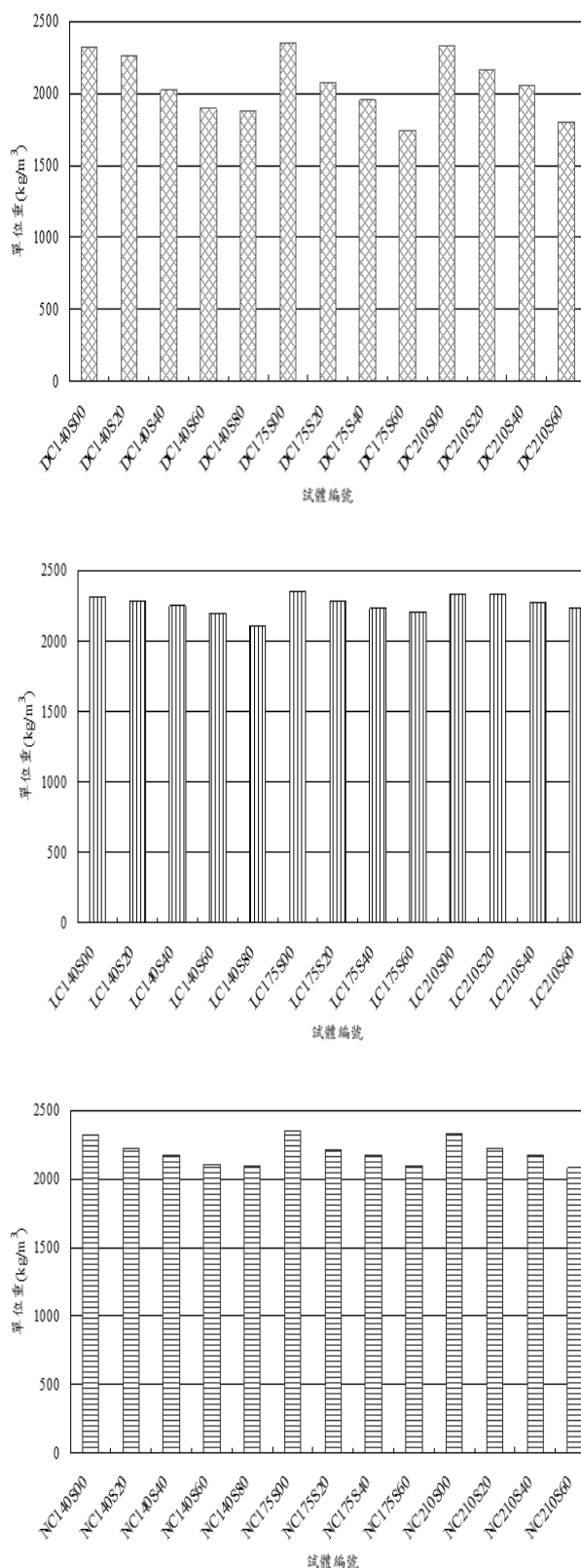


圖 3 大瀆、林內、南化淨水場污泥混凝土單位重

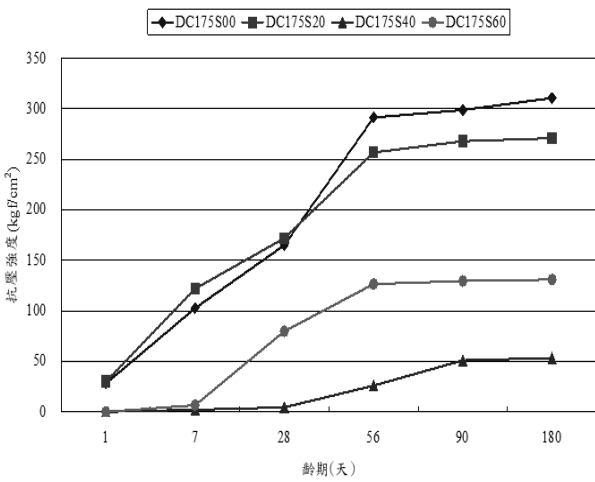


圖 4a 大滲污泥混凝土抗壓強度(140kgf/cm² 級)

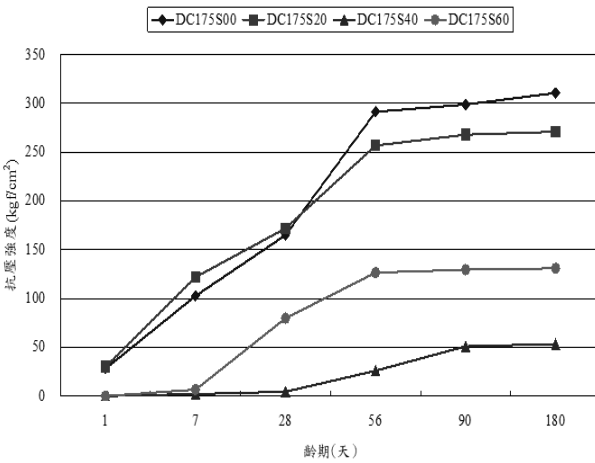


圖 4b 大滲污泥混凝土抗壓強度(175kgf/cm² 級)

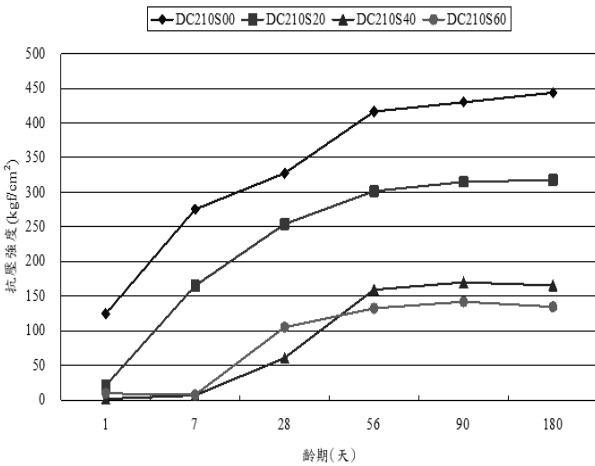


圖 4c 大滲污泥混凝土抗壓強度(210kgf/cm² 級)

圖 5 為林內淨水場污泥混凝土試驗結果，由圖中可知該場污泥混凝土各式配比組於 28 天齡期時之抗壓強度都可以符合三種設計抗壓強度目標值的要求。

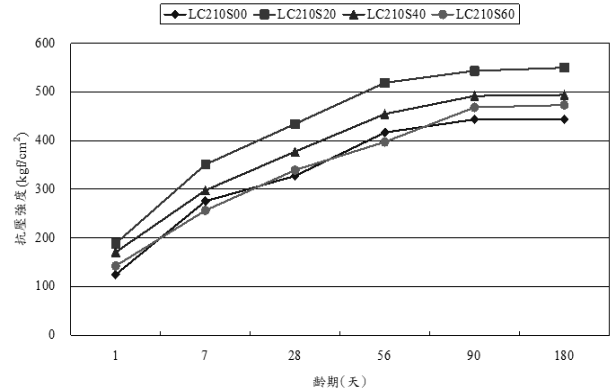


圖 5a 林內污泥混凝土抗壓強度(210kgf/cm² 級)

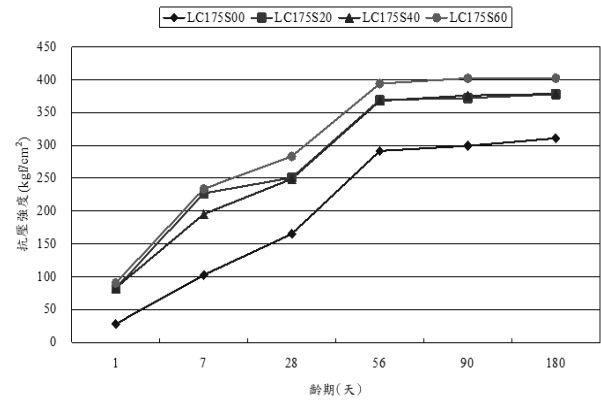


圖 5b 林內污泥混凝土抗壓強度(175kgf/cm² 級)

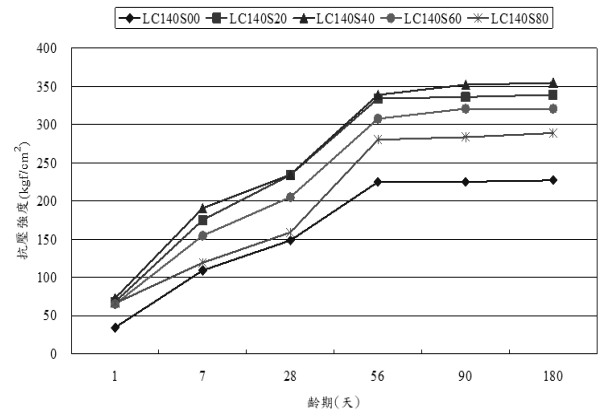


圖 5c 林內污泥混凝土抗壓強度(140kgf/cm² 級)



由南化淨水場污泥無筋混凝土試驗結果(如圖 6 所示)可知，隨著污泥取代量的增加，其抗壓強度發展較不理想，其中無論是哪種設計抗壓強度值，皆以 S80 組(添加 80%)之強度最低且未達目標值，故可推論採用南化場污泥拌製無筋混凝土不宜採用取代率大於 60%之配比。唯有設計抗壓強度目標值 210 kgf/cm² 各式配比組之抗壓強度試驗結果 28 天齡期抗壓強度均超過設計目標值。污泥取代量 60%之配比組 NC210S60 亦符合設計強度的要求，可知降低水膠比(增加水泥用量)能有效提高污泥無筋混凝土的抗壓強度，惟增加水泥用量將提高無筋混凝土的成本，使用此類混凝土須考量其經濟效益。

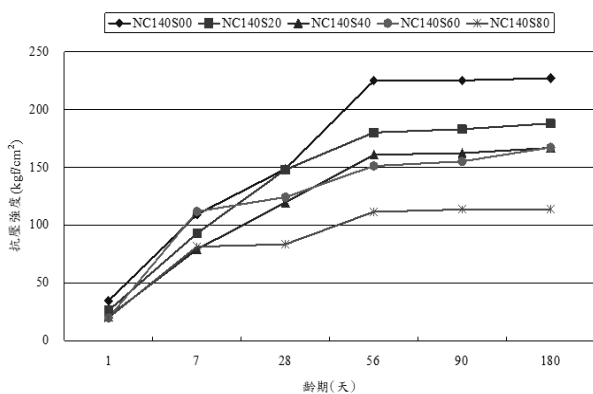


圖 6a 南化污泥混凝土抗壓強度(140kgf/cm² 級)

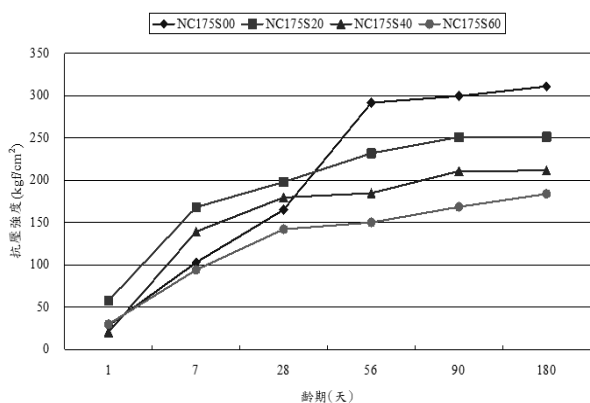


圖 6b 南化污泥混凝土抗壓強度(175kgf/cm² 級)

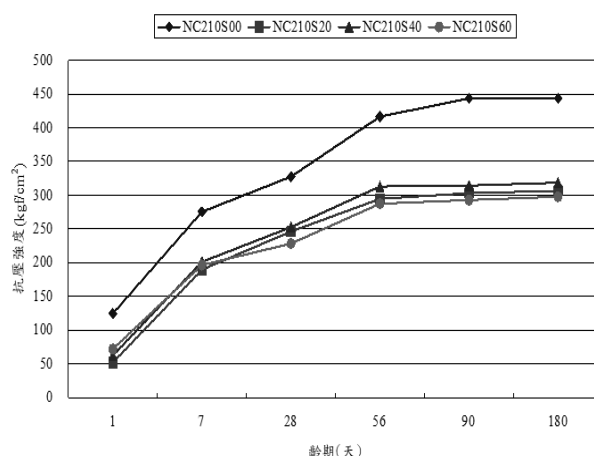


圖 6c 南化污泥混凝土抗壓強度(210kgf/cm² 級)

(二)淨水場污泥混凝土體積穩定性

圖 7 及圖 8 為林內及南化淨水場污泥混凝土的乾縮試驗長度變化量測結果。由長度變化試驗結果可知，淨水污泥取代量 60%者，其長度收縮量比取代量 0%者高出很多，顯示隨著淨水污泥取代量的增加，混凝土的長度收縮量亦增加。另由混凝土長度變化隨齡期發展之結果可知，齡期 3 天至 28 天時，混凝土之長度收縮量明顯；齡期 56 天之後，混凝土之長度收縮量減緩，可見隨著齡期的增加，混凝土的長度變化趨於平緩。

由混凝土抗壓強度與長度變化的比較結果可知，隨著抗壓強度的增加，混凝土之長度收縮量大致上隨之減少，惟隨著水泥用量的增加，無筋混凝土之長度收縮量亦會增加，如林內及南化淨水污泥無筋混凝土 210kgf/cm² 強度等級者，其長度收縮量大於 175kgf/cm² 強度等級者，尤其是污泥取代量 60%者更為明顯。就以上結果可知，考慮體積穩定性時，淨水污泥取代量不宜大於 40%。

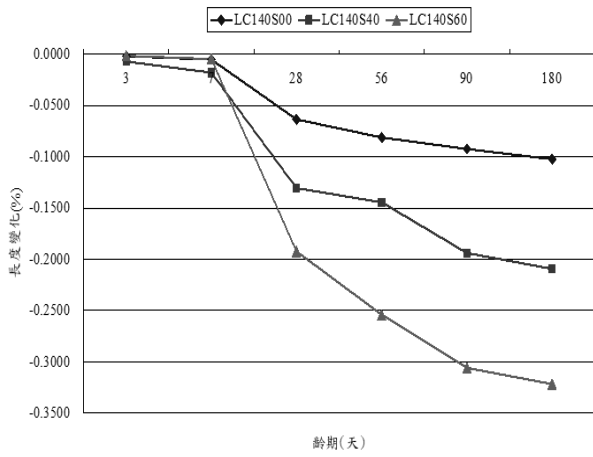


圖 7a 林內混凝土乾縮試驗 (140 kgf/cm² 級)

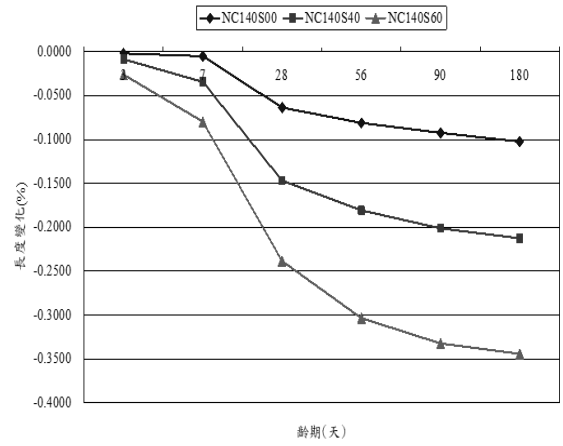


圖 8a 南化混凝土乾縮試驗 (140 kgf/cm² 級)

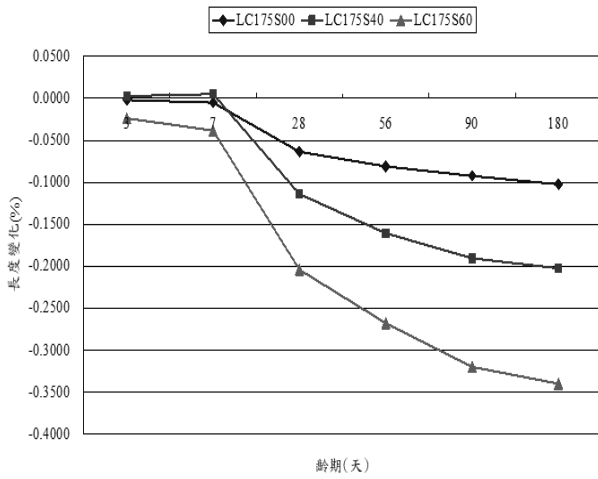


圖 7b 林內混凝土乾縮試驗 (175 kgf/cm² 級)

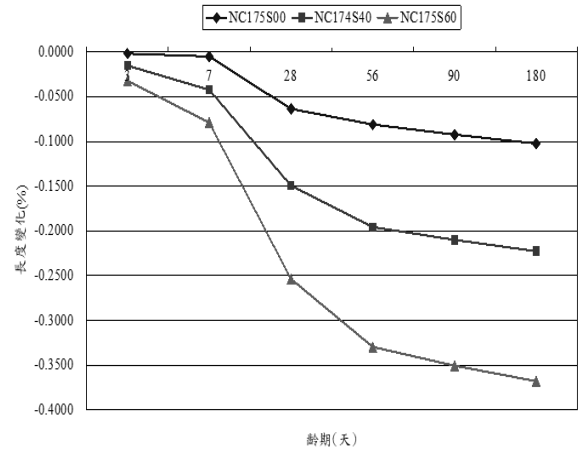


圖 8b 南化混凝土乾縮試驗 (175 kgf/cm² 級)

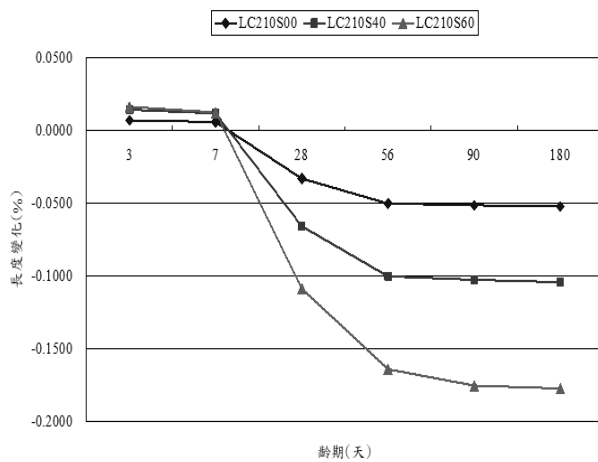


圖 7c 林內混凝土乾縮試驗 (210 kgf/cm² 級)

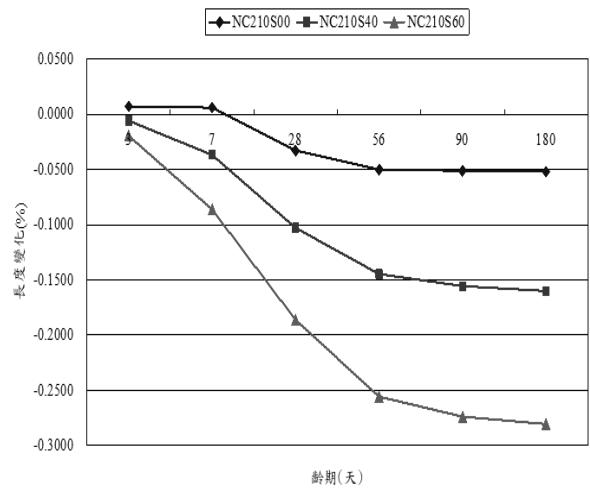


圖 8c 南化混凝土乾縮試驗 (210 kgf/cm² 級)

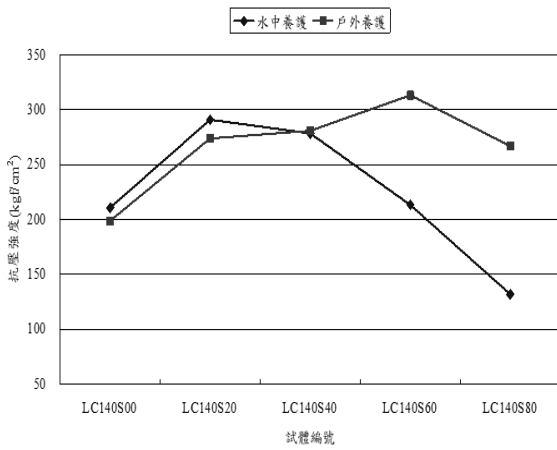


圖 9a 林內混凝土耐久性試驗 (140 kgf/cm² 級)

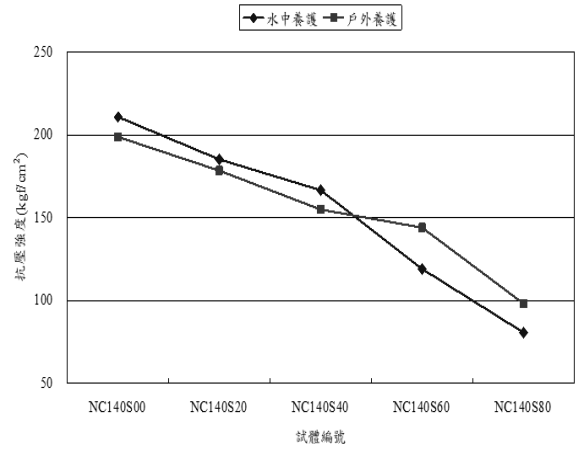


圖 10a 南化混凝土耐久性試驗 (140 kgf/cm² 級)

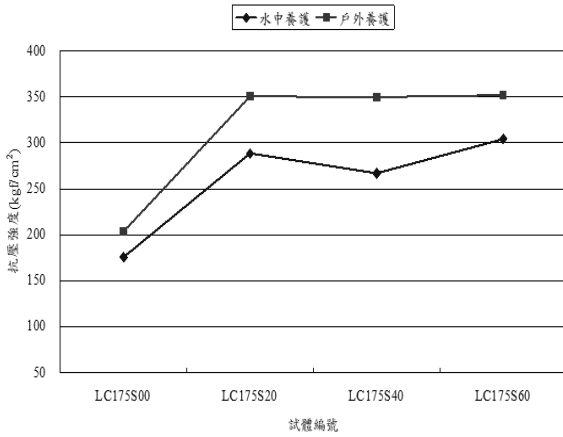


圖 9b 林內混凝土耐久性試驗 (175 kgf/cm² 級)

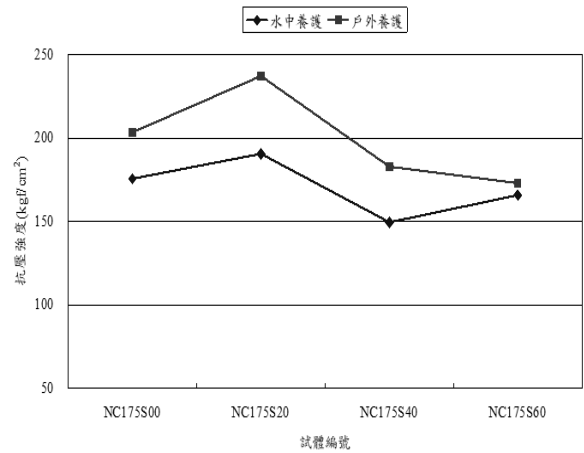


圖 10b 南化混凝土耐久性試驗 (175 kgf/cm² 級)

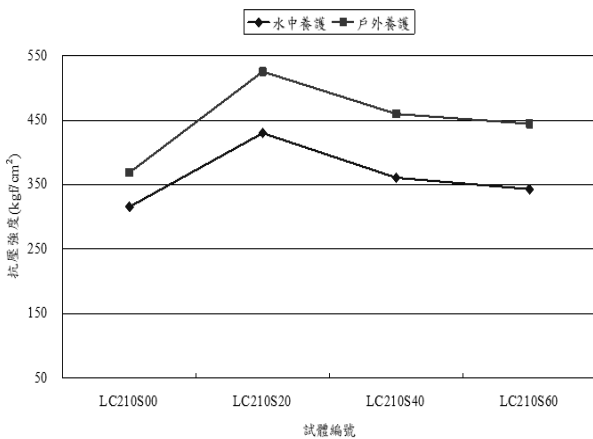


圖 9c 林內混凝土耐久性試驗 (210 kgf/cm² 級)

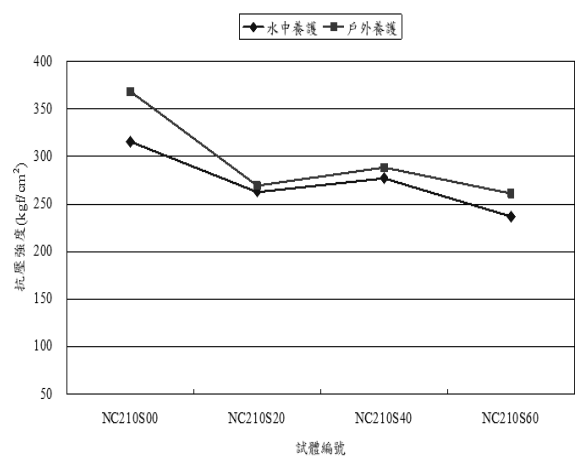


圖 10c 南化混凝土耐久性試驗 (210 kgf/cm² 級)

(三)淨水場污泥混凝土耐久性

本試驗方式係將試體養護 28 天後，以 6 顆試體為一組，3 顆放置於戶外自然養護，另 3 顆浸入水中養護，經過 150 天的齡期後，觀察其外觀變化並進行抗壓試驗，檢驗淨水污泥混凝土長期浸泡於水中及反覆承受日曬雨淋對其強度的影響，試驗結果如圖 9 至 10 所示。由圖中可看出，林內及南化淨水場污泥混凝土抗壓強度 140kgf/cm^2 級者，大致以污泥取代量 20% 配比水中養護之抗壓強度較高，此結果顯示，污泥取代量較高時，較低強度污泥混凝土耐久性較差，置於水中環境是不利的，但達 40%、60% 及 80% 配比之戶外養護之抗壓強度則較高，此結果亦顯示，若較低強度污泥混凝土置於一般環境下，還是具有耐久性；在抗壓強度 175 及 210kgf/cm^2 級者，亦有相同結果，均以戶外養護之抗壓強度較高。由此可知，淨水污泥混凝土長期浸於水中環境，對其抗壓強度發展較為不利。就以上資料總結而言，淨水污泥無筋混凝土無論是長期浸泡於水中或反覆承受日曬雨淋，大致上以污泥取代量於 40% 以內時對其強度的影響較不明顯。

五、結論

本研究選定台灣自來水公司北部大滴，中部林內及南部南化淨水場的淨水污泥，進行淨水污泥產製混凝土技術研究。完成三種抗壓強度(140 kgf/cm^2 、 175 kgf/cm^2 及 210 kgf/cm^2)的污泥無筋混凝土配比設計、抗壓強度試驗、體積穩定性之長度變化試驗及耐久性試驗。經試驗據分析及討論後獲得下

列結論：

1. 抗壓強度試驗結果顯示，林內場及南化場各式混凝土配比之抗壓強度於 28 天齡期可達強度設計的目標值，齡期 56、90 及 180 天之抗壓強度仍可保持些微成長，大滴場淨水污泥混凝土試體於水中養護過程中會溶出污泥顆粒，致使抗壓強度發展不理想，不宜應用於混凝土的產製。
2. 針對三場淨水污泥進行淨水污泥有機不淨物含量檢測結果顯示，大滴場淨水污泥接近有機色板編號 5，較標準顏色溶液顏色深，有機物含量較高。此結果可說明大滴淨水污泥抗壓強度較低之原因。
3. 體積穩定性試驗結果顯示，隨著抗壓強度的增加，混凝土之長度收縮量大致上隨之減少，惟隨著水泥用量的增加，無筋混凝土之長度收縮量亦會增加，如林內及南化淨水污泥無筋混凝土 210kgf/cm^2 強度等級者，其長度收縮量大於 175kgf/cm^2 強度等級者，尤其是污泥取代量 60% 者更為明顯。綜合試驗結果可知，考慮體積穩定性時，淨水污泥取代量不宜大於 40%。
4. 耐久性試驗結果顯示，污泥取代量較高時，較低強度污泥混凝土耐久性較差，置於水中環境是不利的，但達 40%、60% 及 80% 配比之戶外養護之抗壓強度則較高，此結果亦顯示，若較低強度污泥混凝土置於一般環境下，還是具有耐久性；在抗壓強度 175 及 210kgf/cm^2 級者，亦有相同結果，均以戶外養護之抗壓強度較高。總結而言，淨水污泥混凝土若是長期浸泡於水中或反覆承受日曬雨淋，以污泥取代量於 40% 以內時對其強度的影響較不明顯。

參考文獻

- 1.林忠逸，「水處理工程廢棄污泥及煉鋼廢爐渣燒製環保水泥之材料特性研究」，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，2004。
- 2.劉又瑞，「淨水污泥混合營建廢棄土製磚及燒結人造骨材的研究」，碩士論文，國立交通大學環境工程所，2001。
- 3.王靜逸，「淨水場污泥再利用技術及用途評估之研究」，碩士論文，國立交通大學環境工程所，2007。
- 4.J.H. Tay, W.K. Yip, Sludge Ash as Lightweight Concrete Material, J. Envir. Engrg. Volume 117, Issue 6, pp. 834-844, 1991.
- 5.C.R. Cheeseman Corresponding, G.S. Viridi, Properties and microstructure of lightweight aggregate produced from sintered sewage sludge ash, Resources Conservation and Recycling, Volume 45, Issue 1, pp. 18-30, 2005.
- 6.C.R. Cheeseman, G.S. Viridi, Properties and Microstructure of Lightweight Aggregate Produced from Sintered Sewage Sludge Ash, Volume 45, Issue 1, pp.18-30, 2005.
- 7.資料來源：臺灣省自來水公司第三區管理處-淨水場自來水處理流程說明，http://www3.water.gov.tw/ch/10visit/visit_02.asp。
- 8.林東燦，「污泥類廢棄物取代部分水泥原料燒製環保水泥之可行性研究」，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，2006。
- 9.環興科技股份有限公司，「工業廢棄物清理管理專案計畫」，行政院環境保護署，2018。
- 10.資料來源：政府資料開放平台，台灣自來水公司淨水場污泥餅處理情形，<https://www.water.gov.tw/ct.aspx?xItem=153656&CtNode=3394&mp=1>。
- 11.顏聰、陳豪吉等，「淤泥固化之規劃設計與應用」，經濟部水利署委託研究報告，2008。
- 12.鍾明劍、高憲彰、邱顯晉、許秀真、王瑋等，「水庫淤泥固化製成混凝土塊之可行性評估」，The 13th conference on current researches in geotechnical engineering in Taiwan，宜蘭，2009。
- 13.Y.C. Lee, S.L. Lo, J. Kuo, and C.C. Tsai, “Beneficial Uses of Sludge from Water Purification Plants in Concrete Mix,” Environmental Engineering Science, Volume 29, Issue 4, pp. 284-289, 2012.
- 14.顏聰、陳豪吉等，「淨水污泥冷結固化再利用之可行性研究」，台灣自來水公司委託研究報告，2013。
- 15.黃偉綸、潘毅倫、劉禹宏、郭梓淵、賴進華，「水庫淤泥再利用為混凝土材料之探討：以白河水庫為例」，高苑學報，第二十二卷，第 45-50 頁，2017。

作者簡介

陳豪吉先生

現職：中興大學土木系教授

專長：土木材料

洪士政先生

現職：台灣自來水股份有限公司水質處處長

專長：水質管理、環境工程

陳威豪先生

現職：台灣自來水股份有限公司供水處工程師

專長：環境工程

合理自來水費率之探討

文/陳佩君、吳振榮、楊晴雯

摘要

台灣自來水股份有限公司(以下簡稱台水公司)為經濟部所屬國營事業,其由中央政府-經濟部(持股占 85.35%)及地方政府(持股占 14.65%)100%官股組成,除了自來水事業營運外,更肩負國家政策性任務及穩定物價之責任,近 25 年未調整該公司自來水費率。

長期低廉的自來水費率,產生了諸多問題:1.台水公司近 10 年(98~107)平均給水投資報酬率為-0.35%,低於其近 10 年長期借款平均利率 1.0174%,明顯無法累積自有資金,影響汰換舊漏設備及管線,以降低漏水率及提升水質;2.為持續強化供水服務品質,滿足國內用水需求,台水公司持續投入耐震管材及建置自來水智慧水網監控設備等規劃,而此類未來營運發展所需,有賴於合理的給水收入;3.鑒於氣候變遷威脅日益顯著,為了做好旱災準備,並善盡企業社會責任,持續辦理無自來水地區供水改善等計畫,以確保民眾飲用自來水安全並提升普及率。然長期低廉的水費無法緩解公司沉重的成本壓力。

本研究透過文獻彙整方法,經由跨國制度比較,探討我國自來水費制度與費率訂定之問題,獲致以下結論:1.參考世界各城市自來水費率多採累進收費制趨勢;2.台水公司前三次費率調整時均採先累進再累退,第四次費率調整(分二階段施行)則採累進制

度,未來考量內外部環境因素,宜釐訂合理費率並可朝擴大累進費率,同時針對不同屬性用戶提供適當配套措施,以反映水資源稀缺與不確定性問題;3.按現行收費費率,在最高收費級距(51 度以上),無論家庭或商業或工業用戶均享每度 11.50 元(不含稅)之低廉價格(按 107 年度決算售水單位成本為 11.26 元/度),且高低級距價差僅 1.64(倍),致明顯補貼大用水戶。

提出以下建議,包括:1.建立各項自來水成本資料及透明化;2.蒐集並強化研究國內外自來水費率相關資料;3.周延規劃費率方案;4.加強政策溝通。展望未來,不斷自我提升營運效能、精進收支控管,善盡台水公司企業社會責任,乃為福國與利民之基石。

關鍵詞:合理、水價、費率、補貼、公平性

一、前言

(一)研究背景

雖然台水公司肩負穩定物價與配合國家政策之任務,惟目前該公司之平均水價已相當低廉並普遍低於世界各國,且自來水費支出占一般家庭生活支出之比例十分微小。這些現象導致無法有效提升自來水用水效率與節水意願,且就整體環境而言,在目前狀態下,自來水水價費率調整並不至於衝擊民生物價過甚。

1.台灣平均水價較各國家(或地區)低廉

根據國際水協會 IWA(2018 年 9 月)公布¹，調查 2017 年 35 個國家(或地區)年用 200 度(相當月用 16.7 度)之家庭用戶自來水費(基本費加用水費，且不含代徵收費用及營業稅)資料，台灣地區(台水公司及北水處按現行費率表)家戶「平均水價排名」為第 34 名(排名居各國第 2 低)。進一步分析並獲得結果如下：

- (1)台灣平均水價(9.24 元/度)僅為最高-馬爾他(128.34 元/度)約 7.2%；為亞洲最高-日本(33.50 元/度)約 28%。
- (2)台灣平均水價(9.24 元/度)僅高於亞美尼亞(7.88 元/度)。
- (3)台灣平均水價與其他鄰近亞洲國家(或地區)比較為最低。

2.水費占家庭支出負擔輕微

經查台灣地區 106 年每戶家庭自來水水費支出僅占家庭消費支出的 0.30%(居近 5 年最低)，更遠低於世界衛生組織(WHO)認為，合理之水價支出應占家庭消費支出的 2~4%。另與電費(1.10%)、通訊費(3.41%)及交通費(1.31%)等生活消費占比相較，每戶負擔自來水水費更顯輕微。台灣近 5 年平均家庭水費(不含代徵收費)與消費支出比較如表 1。

表 1 台灣近 5 年平均家庭水費與消費支出比較表

支出項目	106 年平均每戶家庭占消費支出(%)	102~106 年平均每戶家庭占消費支出(%)
水費	0.30	0.31
電費	1.10	1.26
通訊費	3.41	3.52
乘交通設備之費用	1.31	1.30

(資料來源:台灣自來水事業統計手冊第 37 期及本研究整理)

(二)研究動機及研究目的

1.研究動機

台水公司基於國營事業之特殊性，自來水費率之訂定，長期以來受到民意因素(依據經濟部 100 年調查「水費調整支持度」項目，民眾不支持占 51.9%)及政策時機因素等影響。就事業經營角度，無法達到事業經營效率之目的，就水資源利用效率角度，更產生水資源浪費與市場扭曲的問題。

- (1)台水公司近 25 年(83~107)平均給水投資報酬率為-0.32%，近 10 年(98~107)平均給水投資報酬率為-0.35%，前兩項均低於其近 10 年長期借款平均利率 1.0174%，明顯無法累積自有資金，影響汰換舊漏設備及管線，以降低漏水率及提升水質。
- (2)為持續強化供水服務品質，滿足國內永續安全用水需求，台水公司持續投入採用耐震管材及強化自來水智慧水網監控設備等計畫，而此類未來營運發展所需，有賴於合理的給水收入。
- (3)鑒於氣候變遷威脅日益顯著，為了做好旱災準備，並善盡企業社會責任，持續辦理無自來水地區供水改善等計畫，以確保民眾飲用自來水安全並提升普及率，然長期低廉的水費無法緩解公司沉重的成本壓力。
- (4)台水公司自民國 63 年元月 1 日成立以來，歷經 4 次水價費率調整(如表 2)。

表 2 台水公司歷次水價調整表

次別	實施日	平均單價 (元/m ³)	費率制度	
一	64.01.01	3.30	1.統一水價； 2.先累進* ¹ 至 200 度 再累退* ² (針對 201 度以上)。	
二	68.07.01	4.95	先累進至 200 度再累 退 (針對 201 度以上)	
三	71.01.01	6.60	先累進至 200 度再累 退 (針對 201 度以上)	
四	一 階	80.08.01	8.25	1.累進； 2.高低價差 1.5(倍)。
	二 階	83.07.01	9.00	1.累進； 2.高低價差 1.64(倍)。

註：1.累進費率：超過區段用水量，用越多費率單價越高。
2.累退費率：區段的水費隨著用水量的增加而遞減。由於累退費率易造成用水的浪費，且小用戶反而負擔較高水費，往往不符合公平與效率。

(資料來源：台水統計手冊第 37 期及本研究整理)

2.研究目的

根據前述研究動機，本研究為瞭解世界各城市自來水費率制度及台水公司自來水費率沿革後，探討台水公司現行自來水費率影響評估概況，與藉由費率結構文獻調查探討公平性費率制度。因此，本研究目的羅列如下：

- (1)瞭解世界各城市自來水費率制度。
- (2)分析台水公司面臨問題。
- (3)探討台水公司自來水費率之影響。
- (4)探討合理費率制度修正方向。

二、研究方法及範圍

本研究採文獻資料蒐集與分析方法，文獻範圍包含台水公司歷年委外研究自來水費率結構文獻查證，摘要臚列如下：

- (一)合理財務與水價結構之制定(1978)。
- (二)台灣省政府自來水價研究報告(1987)。
- (三)台灣自來水公司水價合理化及對經濟影響之研究(2009)。
- (四)水資源價值社會溝通推動計畫之研究(2019)。

三、世界各城市自來水費率制度

費率制度的設計通常綜合了多重目的，除了考量自來水事業之供水成本與財務可行外，還必須兼顧供水普及性、消費者可負擔程度以及公平性。多重的供水目標使得水價費率的設計顯得複雜而困難，根據全球水情報(Global Water Intelligence)之自來水收費調查²，2017 年全球 452 個城市中，近六成採取兩部定價法(收取基本費及用水費)，計有 268 個，單純採取固定費率或級距費率之城市計有 184 個(表 3)。至於費率級距，亦有近六成採取累進費率設計，僅有近三成採取單一(線性)費率。

表 3 全球 452 城市之水費費率設計

城市數量 (個)	費率設計			
	兩部 定價	非兩部 定價	小計	
數量 (個)			占比 (%)	
固定費率	0	5	5	1.11
單一費率	90	73	163	36.06
累退費率	12	2	14	3.10
累進費率	165	100	265	58.63
先累進 再累退	1	0	1	0.22
未統計	0	4	4	0.88
小計	268	184	452	100

註：兩部定價指向用戶收取「基本費」，並按用水量依費率收取「用水費」。

(資料來源：GWI 資料庫及本研究整理)

累進費率普遍被視為需求管理與確保公平性的較佳工具，通常將最低級距設計在低於運維成本的水準，以確保低所得消費者能在可負擔範圍內取得基本所需水量，並透過累進的級距，讓用水較多的高所得者負擔較高費率。然而，這種設計的原意在實務上還需要其他配套或至少先釐清用水者屬性，原因在於高所得者未必用水較多而低所得者也未必用水較少。在無法將費率與所得連結、級距區分不合理或費率差異過小的情況下，使得在巴西、南太平洋的一些城市就存在大多數消費者同時享有水價補貼的情況，不僅無法達到社會照顧與公平目的，更無法維繫供水財務上的永續發展。

各級距費率的差異，決定訂價目標（社會照顧、公平、財務）能否達成的關鍵。在採取級距費率的 279 個城市中，最高費率與最低費率之差距大多落在 5 倍之內（表 4），少數城市如日本（京都、福岡）、沙烏地阿拉伯（吉達、利雅德）、南非（開普敦）等則超過 20 倍。

表 4 城市費率差距概況

城市數量 (個)	費率結構			
	累退 費率	累進 費率	小計	
			數量 (個)	占比 (%)
<5	12	204	216	77.42
≥5 且 <10	2	38	40	14.34
≥10 且 <20	0	12	12	4.30
≥20 且 <30	0	5	5	1.79
≥30	0	6	6	2.15
小計	14	265	279	100

（資料來源：GWI 資料庫及本研究整理）

四、自來水費率檢討及問題分析

(一)自來水事業存在高成本低回收之特性

據台水公司營業章程第 4 條「本公司供水種類如下：一、普通用水：供一般使用者。二、工業用水：供工業使用者。三、商業用水：供商業使用者。四、船舶用水：供船舶使用者…」規章，敘明用戶收費類別。

而該公司具有下列事業經營特性：

- 1.建設投資金額之內部效益回收慢或無法回收(因常須配合政府政策投資致無法回收)。
- 2.提供穩定供水促進產業經濟發展之外部效益。
- 3.營收少(因收費定價需考量民眾負擔；107 年度台水營收僅占台電公司 5%)。
- 4.供水普及率愈高時相對成本愈高(例如辦理偏遠之無自來水地區延管，如表 5)。
- 5.兼具自來水生產及供水服務的事業。
- 6.國內供水與供電之兩國營事業資產規模不相同(如表 6)。

(二)未來氣候的不確定性更使水價費率調整具必要性

根據水價計算公式及詳細項目，水價訂定必須涵蓋成本及合理報酬，其中成本一項必須考量未來營運發展及因應氣候變遷做災害準備金，以保障用戶永續安全飲用水之權益。

由於氣候變遷正逐漸改變台灣之氣候型態與水資源供應，乾旱與急降雨現象愈加頻繁且嚴峻，使得在預估未來營運所需之成本時愈發困難。而為確保極端氣候下供水無虞，必須以更穩健的規劃來強化供水設施與緊急應變能力。鑒於氣候變遷對台灣之影響尚存在諸多不確定性，對於未來供水營運及成本預估必須賦予彈性調整空間，避免僵化

的水價限制極端氣候應變能力。

另一方面，節約用水及替代水源為水資源政策重要目標，在配合政府政策下，台水公司無可避免地必須面臨未來工業用戶增加使用再生水取代自來水〔逐步擴大影響給水收入，最高一段費率含稅 12.075 元/度(高於 107 年度決算售水單位成本 11.26 元/度)，現況屬賺錢的區塊用水量降低〕的狀態。由於自來水事業固定成本高昂，折舊攤提與人事成本占總成本近半數，難以因售水量減少而降低，當成本不變條件下，售水量若變少，則應有的水價則必然提高。〔計價公式：平均單位水價=(成本+合理利潤+各項稅賦)/售水度數〕

表 5 近 8 年無自來水地區供水改善計畫新增折舊

年度(民國)	新增資產(元)	新增折舊數(元)
101	77,420,120	2,089,080
102	274,576,841	6,858,960
103	213,805,299	6,123,996
104	229,748,382	6,268,236
105	229,917,236	6,272,580
106	98,211,051	2,463,780
107	655,182,526	16,142,796
10801~04	306,568,772	7,854,528
10805~12	329,431,228	8,071,068
108 小計	636,000,000	15,925,596
合計	2,414,861,455	69,443,400

註：1.近 8 年(101~108)無自來水地區工程計畫增加折舊合計 69,443 千元(108 年 4 月以前均為實際數；5~12 月則為推估數；年平均 8,680 千元)。
2.另此類 5 年期(106~110)自來水延管工程，將新增後續年度之維護費及動力費 每投資 1 億元約需 0.69 億元之動力及維護費用，估算每年將需再投入 1,016,922 千元 (即總經費 73.69 億元/5 年*0.69 億元=10.16922 億元)。
3.自來水延管工程年增加折舊、動力及維護費之成本約 10.26 億元(8,680+1,016,922=1025602 千元)。

(資料來源:台水財產管理資訊系統及本研究整理)

表 6 107 年度台水與台電兩公司資產規模比較表

項目		台水公司 (與上年度比較)	台電公司
背景資料	公司成立(民國)	63 年 1 月 1 日	35 年 5 月 1 日
	產業別	自來水事業	綜合電業
	銷售量(千度)	2,471,639	219,108,005
	平均每戶(度/年)	245	1,293
實收資本額(億元)		1,475	3,300
營業收入(億元)		301 (↑)	5,876
總資產(億元)		3,097 (↑)	20,282
負債總額(億元)		1,217 (↑)	17,412
權益總額(億元)		1,880 (↑)	2,869
資產報酬率[本期淨利 / 平均資產總額×100%]		0.24% (↓)	1.43%
負債權益比率 [(負債總額/權益)×100%]		65% (↑)	607%
負債比率 [(負債總額/總資產)×100%]		39% (↑)	86%
稅前淨利(億元)		2.35 (↑)	283

註：1.實收資本：台水公司占台電公司 48%。
2.營業收入：台電公司僅占台電公司 5%。
3.總資產：台水公司占台電公司 15%。
4.負債總額：台水公司僅占台電公司 7%。
5.權益總額：台水公司居台電公司 66%。
6.資產報酬率：比率高者為佳。
7.負債權益比率：對債權人，負債對股東權益比率越低，表示企業的長期償債能力越強。台電公司之總資產中負債資本較高，對負債資本的保障程度較弱。
8.負債比率：台電公司的資產以負債居多(占 86%)，仰賴向銀行借款，負債總額為台水公司 14 倍。

(資料來源:公開資訊觀測站及本研究整理)

(三)持續改善供水服務卻未能反映成本

自來水在生活中早已不可或缺，攸關國民健康、家庭用水供應及促進工商業發展。由《2019 年聯合國世界水發展報告》，得知獲取安全的飲用水和衛生設施是一項基本

人權。台水公司更往往在自籌資金下，持續為不斷提升供水服務品質而努力，近 5 年(103~107)所供應自來水之水質合格率高達 99.95%。

近年台水公司為解決全球暖化及氣候變遷與水源污染與水資源短缺問題，持續落實政府經濟政策，營造富國利民之基石，持續積極投入提高售水率及供水普及率等重要工程建設。台水公司近 25 年(83~107)已投資相關工程近 2,676 億元，冀達積極降低漏水率及穩定供水，以滿足民眾賴以維生的有限水資源、充裕工業用水，並已展現工程績效，如表 7。

表 7 近 25 年台水公司工程績效摘錄表

項目	83 年* ¹	98 年	107 年
用戶數(千戶)	3,871	6,202	▲7,095
供水普及率(%)	84.25	90.72	▲93.04
管線長度(km)	37,745	56,257	▲62,369
漏水率(%)	—* ²	21.45	▼15.03* ³⁻⁴
管線汰換率(%)	1.78* ³	1.54	▼1.30
水質合格率(%)	99.57	99.94	▲99.98
每員工平均服務用戶數	607	1,135	▲1,248

註：1.現行費率於民國 83 年 7 月 1 日公告實施。
2. “—”代表「無數值」。
3.民國 83~84 年因政府補助管線汰換經費，故管線汰換率頗佳；近年台水公司均須每年自籌約 70 億元辦理汰換舊漏管線，管線汰換率仍優於國際水協會曾出版之自來水事業績效指標報告，國際間自來水事業每年之管線汰換率平均值 0.91%。

(資料來源：台水年報及本研究整理)

(四)配合政策帶來成本壓力卻苦無彈性調節機制

為配合政府水資源政策，台水公司直接投資或分擔政府水庫興建、降低漏水率計畫、無自來水地區供水計畫及前瞻基礎建設

等建設經費，往往由政府政策決定，而非以公司營運合理性進行決策。國營事業配合政策帶來的成本壓力，卻缺乏彈性調節機制加以因應，而水價費率調整尚須視民生、經濟景氣、物價波動、社會氛圍等訊息指標，受政府政策指導。

(五)輿情需要更廣泛的討論與共識凝聚

由於水價費率調整為與所有民眾生活相關之切身議題，在知識普及且資訊傳遞迅速的現代社會，在理性上多數能接受水價必須合理反映成本與物價因子。然而輿論往往受到特定事件或情感上的左右而瞬息萬變，這對於存在制度化調整程序的自來水費率而言，無疑增加其調整障礙。所幸民意及非營利事業組織等代表，會參考民意、輿情，乃至環境保護、水資源永續策略，對費率調整做適度意見之表達或反映，應可藉由廣泛的討論與意見交流，加速凝聚共識。

五、自來水費率之影響

(一)不適當的費率結構造成用戶間不公平補貼

既然累進費率為需求管理與用水公平之較佳設計，則級距費率之遞增幅度應該要反映用水者支付能力與公平標準，同時能夠滿足供水事業財務平衡。台水公司現行水價從民國 83 年 7 月 1 日起實施迄今，近 25 年來所採 4 段費率表(如表 8)，最高與最低收費級距之單價比值 1.64 倍(11.50/7)，明顯偏低(如：東京 18.36 倍、台北 4 倍、首爾 2.19 倍、香港 2.18 倍)。現行費率以一般家庭生活用水量(每月 10 度內)為第一段基本用水量，費率 7 元/度；第二段以 11 度以上至 30 度為界，

費率 9 元/度；最高一段費率，51 度以上 11.50 元。第二至四段費率均低廉(皆較台灣綜合研究院「水資源價值社會溝通推動計畫之研究」試算平均單位水價 14.96 元/度低)，實應檢討並釐訂合理公平費率結構，反映使用者付費，以及避免不必要的過度補貼或對有獲利能力負擔的工商業用戶補貼遠大於家庭用戶情形。

台水公司供水對象中，大用水量者多為工業用戶，根據統計，107 年工業用水用戶雖占總用戶 0.53%，但其用水量卻占總用水量 26.39%(如表 9)。為能因應持續增加的工業區或科學園區等工業用水需求，近年來陸續投資興建自來水工程，如「曾文淨水場擴建工程計畫」、「后里基地暨支援台中基地供水計畫」等，然而這些供水成本的增加，卻未能透過合理的水價價差反映到大用水戶，讓大小用戶均享高成本低廉水價，顯示用水越多之企業大用戶享受補貼越多，不符合公平正義原則。

如 GWI 所提，原則上基於社會照顧目的，第一段費率通常較供水之維運或操作成本稍低，或甚至完全補貼，但第二段以上費率應相當或稍高於平均單位水價。

表 8 台水公司各段級距費率表

分段	月用水量 (立方公尺)	單價 (元/度；不含稅)
第一段	1-10	7.00
第二段	11-30	9.00
第三段	31-50	11.00
第四段	51 以上	11.50

註：分段累進計價，高低費率價差 11.50/7.00=1.64(倍)。

(資料來源：台灣自來水事業統計手冊第 37 期及本研究整理)

表 9 台水公司用戶用水量分析表

用水類別	占總水費收入比(%)	占總用戶數比(%)	占用水量比(%)
一般用水	66.54	98.05	68.40
工業用水	27.74	0.53	26.39

註：台水公司用水種別，計有「一般用水」、「工業用水」、「船舶用水」及「機關及其他用水」。因「船舶用水」及「機關及其他用水」之水費收入、用戶、用量不大，故不列入本分析。

(資料來源：台水年報及本研究整理)

(二)無法反映成本的費率限制經濟發展與帶來缺水的衝擊

水價計算公式既然納入未來營運發展及因應災害準備等項，即表示已意識到未來我國在氣候變遷下將面臨的風險。基於台水公司肩負國家穩定供水任務，對我國經濟發展、社稷民生具有莫大責任³，長期未能調整之水價費率，無法反映前述準備所需負擔之成本，致使供水應變能力逐漸薄弱，缺水帶來的衝擊將愈發令人憂心。

例如民國 104 年台灣發生最嚴重旱災，限水措施影響工業用水大戶減供 10%，商業及民生採「供五停二」分區輪流供水。據經濟部工業局當年調查結果：1.石門供水區域之工業用戶(每月用水逾 1,000 度)，主要涉及電子、化材、紡織及食品等產業，依各行業儲水設備估算影響產能 10~35%，再據地方政府提供每日產值 133 億元，估計減供自來水後的產值損失為 13.3~46.55 億元(133*10%~133*35%)。2.限水 1 個月將使該年度整體實質 GDP 減少 0.83~2.92%。另利秀蘭(2015)，以資源利用模型及產業關聯表估

計，試算在不同限水情境對經濟之影響評估結果，整體實質 GDP 減少 0.025~0.033%⁴。

林永禎(2005)⁵研究報告，西元 2004 年桃園地區限水，總損失達 43 億元(包括：營運損失 40 億元增加用水成本 3 億元)，每天桃園地區工業損失高達 7 千萬元。

經濟部水利署經委託台經院(2010)辦理「水再生利用經濟效益評估模式研究(2/2)」⁶，工業部門平均每度用水量產值 1,878.36 元，其中電子零組件製造業部門平均每度用水量產值 22,718 元；電腦、電子產品及光學製品製造業部門平均每度用水量產值 14,763 元。故值得注意，萬一缺水時將對高科技、石化及紡織等產業形成極大危機，包括上下游廠商產值影響、廠商自身的產品生產進度、面對鄰國廠商趁機競搶我國廠商訂單等。

過去面臨缺水，大多採取農業休耕與移用農業用水等措施調節，雖然從產值創造角度，此舉不至於造成過大產值衝擊，林好蓁(2016)⁷即提到水資源之價值，在農業用水產值為每噸 1 元，工業用水產值為每噸 4,000 元，但龐大的休耕補貼財政負擔與水資源缺乏市場效率的運用方式，使得隱而未宣的水資源價值遭到忽略或扭曲。是故，面臨趨於匱乏且不穩定的水資源，對於國家整體之市場及非市場價值影響越來越巨大，不利國家永續發展及水利技術創新。

六、公平性費率制度修正方向

依據台水公司過去 40 餘年間對自來水費率之相關研究結論(如表 10)，自來水費率

結構調整原則包括：

- (一)採累進費率為國內外普遍做法，在水資源不確定性逐年增高情況下，可望透過合理累進費率促進大用水戶提升用水效率。
- (二)級距劃分需視各級距用戶特性而定，基本用水(每月 10 度以下)基於社會照顧原則，費率應低於平均單位水價；至於每月 11 至 30 度用水戶，因用水戶數眾多且多為一般家庭，在目前過於低廉的水費基準下，應可適度調高費率，在不造成過高水費負擔下，反映供水成本；對於 31 度至 200 度之用戶，因多屬營業用途，水費負擔低、獲利能力及用水效率提升潛力較高，因此可採較高累進費率並提供設備汰換輔導或節水獎勵；至於超過 200 度之大用水戶，因多為工業用戶，對於供水穩定性要求較其他用戶來的更高，應可適度將為確保未來穩定供水所需之相關投資成本，透過較高費率反映之，並提供工業用戶可行之用水服務措施(例如：針對大用戶逐步安裝智慧水表及早發現漏水，輔導節水，珍惜水資源)。
- (三)級距劃分區段數應控制在可操作範圍內，雖然級距劃分越細緻，越可透過水費反映完整的邊際成本，但過度細分的級距造成水費收費與計算成本，對於消費大眾亦難以輕易理解，就國內外案例，級距區段數量大多維持在 3 至 7 段之間。

表 10 歷年自來水費率結構文獻查證彙總表

研究報告/年度	委託單位	摘錄建議費率制度重點
合理財務與水價結構之制定 ⁸ /1978	台灣大學商學研究所(陳定國博士等)	建議三方案如下： 1.超過基本用水量採累進費率。(合理法五級制)。 2.採現行分段再行新的差異費率。(比例法六級制)。 3.依照用戶用水量分布予重新分段。(比例法七級制)。
台灣省政府自來水價研究報告 ⁹ /1987	台灣省政府自來水價研究專案小組(黃鏡峰等)	繼續維持先遞增再遞減費率制度： 1.訂大眾生活必需之飲用水約每月 10 度。一般家庭用水訂 11~30 度。此兩段均低於平均單位水價。 2.訂 31~200 度多為營業用戶，有能力負擔，並避免一般用戶浪費水資源，即採較高之累進費率。 3.訂 201 度以上多屬工業用水戶，給水成本較一般用戶低，並為避免水費過高另覓水源而不用自來水，改以累退費率。
台灣自來水公司水價合理化及對經濟影響之研究 ¹⁰ /2009	台灣經濟研究院	1.訂合理費率結構以反映成本、合理報酬及用戶公平。避免不同用戶的交叉補貼，滿足用戶公平。 2.以民國 94~96 年成本及合理利潤 4.74%，試算 97 年的平均單位水價為 10.84 元/度。 3.分析及設算求得以現行四段之新合理定價；高低價差 1.53(倍)；若同時考量基本費(調降)因素，則四段單價須再提高；高低價差 1.55(倍)。 4.推估合理級距以五段設計。
水資源價值社會溝通推動計畫 ¹¹ /2017-2019	台灣綜合研究院	1.每月必須基本用水量以 10 度估計：以(每戶平均 3 人*86 公升)/日*30 天)/1,000=7.74 度/月。 2.每月合理家庭生活用水量以 20 度估算：以(每戶平均 3 人*250 公升*30 天)/1,000=22.5 度/月。 3.為將反映珍貴水資源，能獲節水效果、反映供水成本、降低水利事業及政府財政負擔等提出擴大累進價差費率。 4.按經濟部 104 年修頒水價計算公式，設算民國 108 年之合理平均單位水價為 14.96 元/度，並依用戶用水量特性，區分為七段，採擴大累進費率；高低價差 2.72~2.86(倍)。

(資料來源：本研究整理)

七、結論與建議

台水公司屬經濟事業，經營管理須就經濟、社會、環境及水資源等面向作永續議題思考，縱然世界各城市或國內各自來水事業費率制度(或結構)仍然有差別，但為各世代美好未來，保護及珍惜日益稀缺水資源相形重要，本研究建議公平合理之自來水費率圖象如圖 1，考量理由如表 11。

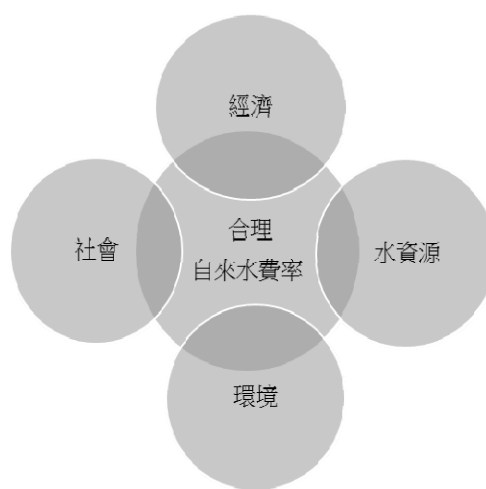


圖 1 費率宜反映經濟社會環境及水資源等面向

(資料來源：參考水利署「節水政策與水資源定價策略之研究」及本研究整理)

表 11 建構合理自來水費率

面向	理由
經濟永續	自來水為經濟商品，有其價值，能帶動各產業經濟產值。宜由合理費率反映投資及營運成本。
社會永續	考量對社會衝擊面影響及大眾接受程度。
環境永續	台灣從西元 2000 年以來遇 9 次缺水，在 21 世紀水資源挑戰，面對環境破壞及氣候變遷，洪水、乾旱及水污染加劇。
水資源永續	水屬天然資源，日漸稀缺，必須珍惜及維護利用。目前政府建造的水庫成本未涵蓋在內。

(資料來源：本研究整理)

(一)結論

經研究獲致以下結論：1.參考世界各城市自來水費率多採累進收費制趨勢；2.台水公司前三次費率調整時均採先累進再累退，第四次費率調整(分二階段施行)則採累進制度，未來考量內外部環境因素，宜釐訂合理費率並可朝擴大累進費率，同時針對不同屬性用戶提供適當配套措施，以反映水資源稀缺與不確定性問題；3.按現行收費費率，在最高收費級距(51 度以上)，無論家庭或商業或工業用戶均享每度 11.50 元(不含稅)之低廉價格(按 107 年度決算售水單位成本為 11.26 元/度)，且高低級距價差僅 1.64(倍)，致明顯補貼大用水戶。

(二)建議

擘劃未來公平性自來水費率政策，為有效與各界溝通並獲取共識，達到調整自來水費率之施政目的，應該強化以下事項：

1.建立各項自來水成本資料及透明化

由於供水事業為穩定供水或辦理政策性任務，須先投資建設，至於水資源費率調整相當不容易，因此各項營運成本應建立正確資料及適度揭露，期與外界建立信賴關係。

2.蒐集並強化研究國內外自來水費率相關資料

期許成為國際級自來水事業，當然要與世界接軌，持續蒐集並強化研究國內外自來水費率相關資料，加以滾動式檢討費率，俾利減少或避免用戶的不公平補貼，可更穩健營運，利於事業長青。另李丁來(2012)5，將自來水事業以往績效，與國內其他地區相似之自來水事業或國際具聲譽之自來水事業

相評比，乃有效持續改善之良方。

3.周延規劃費率方案

為避免對用戶補貼不公平，並達到最佳節水效果及水資源有效運用目標。未來，建議可(1)針對民生必須之飲用水(10 度內)原則低於平均單位水價；(2)針對一般家庭用水用戶(11~20 度內)原則稍低於或參照平均單位水價計收；(3)針對用水 51 度以上用戶，因普遍具有獲利能力及避免浪費水資源，原則採遞增商業及工業級距費率：①商業(51~200 度)，稍高於平均單位水價；②工業用水(201 度以上)，因投資建設之給水成本最高，應該強化使用者付費，費率宜酌分累進費率。

4.加強政策溝通

由於水費收入用以抵償所需成本並獲得合理利潤，因此相關自來水興建計畫及數據應擬具完整說帖，利於對外溝通。

展望未來，不斷自我提升營運效能、精進收支控管，善盡台水公司企業社會責任，乃為福國與利民之基石。

參考文獻

- 1.IWA, Total Charges For The Capitals In 2017 For The Capitals In 2017 For A Consumption Of 200M3, <http://waterstatistics.iwa-network.org/graph/10>。
- 2.The Global Value Of Water(2017)。
- 3.李丁來(2012),「自來水事業國際績效指標及標竿研究」,頁3。
- 4.利秀蘭(2015),限水對國內經濟之影響—以資源利用模型評析, <https://ws.ndc.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS9hZG1pbmlzdHJhdG9yLzEwL3JlbGZpbGUvMC8xMDEzNS9kOGUwODY1NC0wYzJhLTRiMWItODE4ZC1hMTc4NjdiY2RhNjIucGRm&n=NemZkOawtOWwje>

Wci%2BWfP%2Be2k%2Ba%2Fn%2BS5i%2B
W9semfv%2B%2B8jeS7peizh%2Ba6kOWIqee
UqOaooeWei%2BipleakC5wZGY%3D&icon=..
pdf。

- 5.林永禎(2005)，桃園地區缺水之影響與經濟損失。
- 6.台灣經濟研究院(2010)，「水再生利用經濟效益評估模式研究(2/2)」，頁4-19。
- 7.林妤蓁(2016)，水資源與產業經濟。
- 8.陳定國、何雍慶、李宗黎(1978)，「合理財務與水價結構之制定」，國立台灣大學商學院研究所。
- 9.黃鏡峰等(1987)，「台灣省政府自來水價研究報告」，台灣省政府自來水價研究專案小組。
- 10.台灣經濟研究院(2009)，「台灣自來水公司水價合理化及對經濟影響之研究」，台灣自來水

股份有限公司。

- 11.台灣綜合研究院(2019)，「水資源價值社會溝通推動計畫之研究」，台灣自來水股份有限公司。

作者簡介

陳佩君女士

現職：台灣自來水股份有限公司財務處財管組組長
專長：財產管理、費率檢討

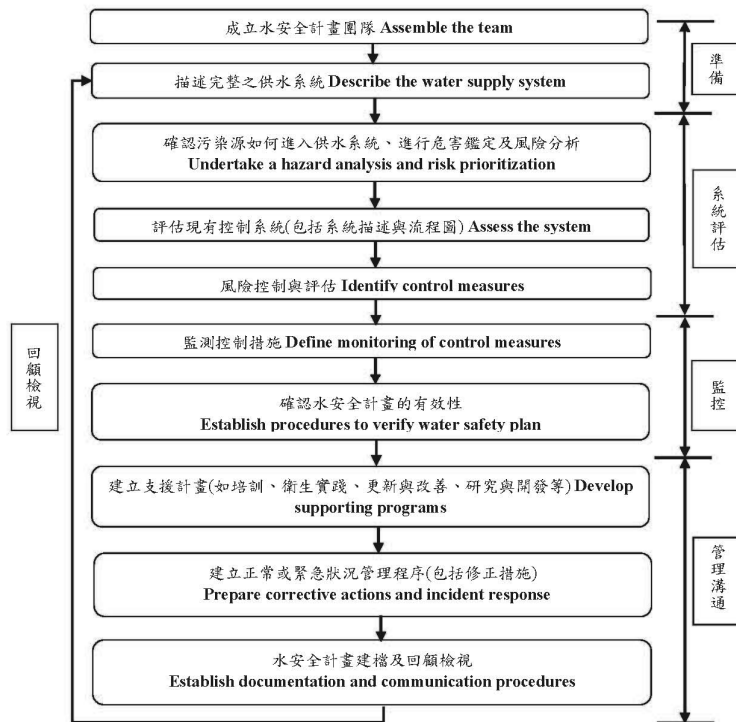
吳振榮先生

現職：台灣自來水股份有限公司副總經理
專長：土木工程、事業經營

楊晴雯女士

現職：中華經濟研究院分析師
專長：資源經濟、產業經濟

38 卷第 2 期(150) 實體書勘誤聲明： 「台水公司水安全計畫—以坪頂淨水場列」乙文， p18，圖 2(原圖之格式文字略有走位)，修正如下：



版梁柱式矩形水池設計之探討(續)

文/曾浩雄

一、前言

一般配水池或清水池若其容量相當大，致非一跨距(約 6m*6m)之梁板即可成其所需之容量時，則必須以多跨距之梁版方式加以建造。此時其結構應力必須採用本文所示之方法加以計算。雖然較高深之結構力學設計手冊^[1]列有三跨距單層甚至雙層剛架(如圖 1)之計算公式。

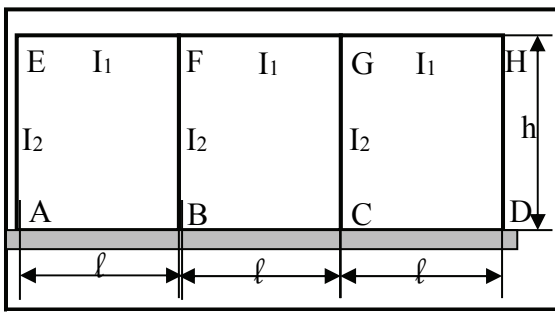


圖 1 三跨剛架示意圖

1. 承受長期作用力時(如圖 2)

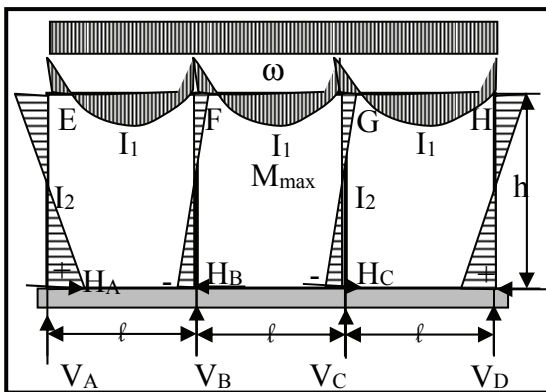


圖 2 三跨距剛架應力示意圖

設 $\kappa = I_1/I_2 * h/l$, $\lambda = 5 \kappa^2 + 10 \kappa + 4$,

$\phi = 36 \kappa^2 + 41 \kappa + 4$. 則 :

$$V_A = V_D = (4 \kappa^2 + 9 \kappa + 4) / \lambda * \omega l / 2$$

$$V_B = V_C = (11 \kappa^2 + 21 \kappa + 8) / \lambda * \omega l / 2$$

$$H_A = -H_D = (4 \kappa^2 + 9 \kappa + 4) / \lambda * \omega l^2$$

$$-H_B = H_C = \kappa / \lambda * \omega l^2 / 4h$$

$$M_A = M_D = -(3 \kappa + 2) / \lambda * \omega l^2 / 6$$

$$M_B = M_C = -\kappa / \lambda * \omega l^2 / 12$$

$$M_E = M_H = -(3 \kappa + 2) / \lambda * \omega l^2 / 6$$

$$M_{FE} = M_{GH} = -(3 \kappa^2 + 6 \kappa + 2) / \lambda * \omega l^2 / 6$$

$$M_{FG} = M_{CF} = -(3 \kappa^2 + 5 \kappa + 2) / \lambda * \omega l^2 / 6$$

$$M_{FB} = M_{GC} = -\kappa / \lambda * \omega l^2 / 6$$

2. 承受短期作用力時(如圖 3)

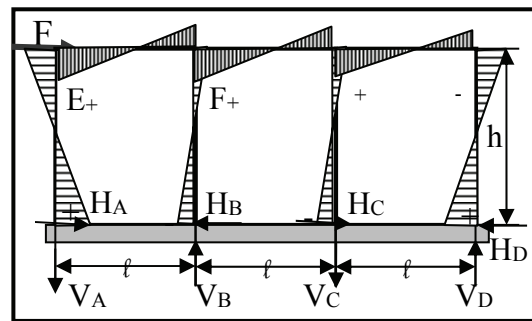


圖 3 三跨距剛架承受地震力示意圖

$$V_A = -V_D = -(3 \kappa(5 \kappa + 4) / \phi) * P h / 2 l$$

$$V_B = -V_C = (9 \kappa^2 / \phi) * P h / 2 l$$

$$H_A = H_D = (9 \kappa^2 + 8 \kappa + 1) / \phi * P$$

$$H_B = H_C = (18 \kappa^2 + 25 \kappa + 2) / \phi * P / 2$$

$$M_A = -M_D = -(9 \kappa^2 + 10 \kappa + 2) / \phi * P h / 2$$

$$M_B = -M_C = -(9 \kappa^2 + 13 \kappa + 2) / \phi * P h / 2$$

$$M_E = M_H = 3(3 \kappa + 2) \kappa / \phi * P h / 2$$

$$M_{FE} = -M_{GH} = -3(\kappa + 1 \kappa) / \phi * P h$$

$$M_{FG} = M_{CF} = 3(\kappa + 2) \kappa / \phi * P h / 2$$

$$M_{FB} = M_{GC} = 3(3 \kappa + 4) \kappa / \phi * P h / 2 .$$

但若建造水池之用地不是完整之正方

或長方形，則其梁版柱之設計便會變成非對稱之形式，致上述所列之公式無法引用，因此必須採用本文所述之方法加以計算。其計算方法雖然繁瑣但然必須了解。前文（曾於 107 年 11 月自來水會刊 37 卷第 4 期 P74~84 刊登）所述只是靜態長期應力；本文為其續文，主要是續述動態(地震)應力。

二、地震對水池產生之剪力

(一)柱與牆之水平剪力 QC：

- 1.內柱之 $QC=0.7/39.64*480 \doteq 8.48T$ 。
- 2.┌形外柱之 $QC=0.59/39.64*480 \doteq 7.14T$ 。
- 3.T 形外柱之 $QC=0.58/39.64*480 \doteq 7.02T$
- 4.角柱 $QC=0.69/39.64*480=8.36T$ 。
- 5.牆 1(與地震水平力平行者)之 $Q_{w1}=3.5/39.64*480=42.38T$ 。
6. Q_{w2} (與地震水平力垂直者)之 $Q_{w2}=1.4/39.64*480 \doteq 16.95T$ 。

(二)因剪力對柱所產生之軸力

- 1.牆體受橫力前後之情形詳如圖 4。
- 2.地震時牆所承受之橫力，時左時右(詳如圖 4 所示)，故其所產生之軸力忽為壓力；忽為張力，結果必增加柱之受力(絕不可正負相抵)。

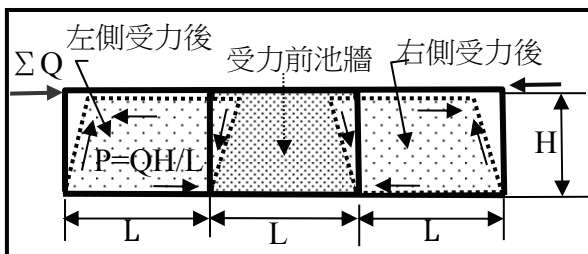


圖 4 牆體受橫力前後之示意圖

3.牆之剪斷力對外柱所產生之軸力

- a.牆 1 之 $PC=QW*H/L=42.38T*5m/6m =35.32T$ 。

- b.牆 2 之 $PC=16.95T*5m/6m=14.13T$ 。

(三)因橫力對牆柱產生之力矩

- 1.水平力對底版頂部產生之總力矩 $\Sigma M= \Sigma Kh_1*Q*h=0.23*(60*5+129.96*(0.15/2+5)m+171.07*((4-0.5)/2+1)m+13.61*((4-0.6)/2+1)m+24.48*((4-0.6)/2+1)m+14.52*(5-0.6)/2+0.741*(84.24*1/2+7.2*1/2) \doteq 1342.73T\cdot m$ 。
- 2.每根柱子承受力矩之比率 $\Sigma M/ \Sigma D=1342.73/39.64=33.873T\cdot m$ 。
- 3.所有柱子分配得之力矩：
 - a.內柱= $0.7*33.873T\cdot m=23.71T\cdot m$ 。
 - b.┌形外柱(Y 向)之 $M=0.59*33.873T\cdot m=19.99T\cdot m$ 。
 - c.┌形外柱(X 向)之 $M=0.58*33.873T\cdot m=19.65T\cdot m$ 。
 - d.角偶柱之 M 角偶柱 = $0.69*33.873T\cdot m=23.37T\cdot m$ 。
 - e.牆 1= $3.5*33.8734T\cdot m=118.56T\cdot m$
 - f.牆 2 = $1.4*33.8734T\cdot m=47.42T\cdot m$ 。
- 4.與水平力平行方向之牆每公尺之力矩 = $118.56T\cdot m/6m=19.76T\cdot m/m$ ；與水平力垂直向之牆每公尺之力矩 = $47.42T\cdot m/6m=7.9T\cdot m/m$ 。

(四)橫力對柱產生之力矩

- 1.各柱之柱腳及柱頭之力矩分別為 $M*y$ 及 $M*(1-y)$ 。剛架只有一層時， $y=y_0$ ，當 $=1.0 \sim 5.0$ 時， y_0 均等於 0.55。
- 2.各柱之柱腳及柱頭之力矩
 - a.內柱之 M 腳= $23.71T\cdot m*0.55=13.04$ ；內柱 M 頭= $23.71T\cdot m*0.45=10.99$ 。
 - b.外柱(T 形)柱之 M 頭 = $1*9.65*0.45=10.81T\cdot m$ 。外柱(T 形)柱之 M 腳= $1*9.65*0.45=10.81T\cdot m$ 。

- c. 外柱(⊥形)之 $M_{脚} = 19.65 * 0.55 = 10.81 T \cdot m$ 。
 外柱(⊥形)之 $M_{頭} = 19.99 m * 0.45 = 8.99 T \cdot m$ 。
 d. 柱角偶柱之 $M_{脚} = 23.37 T \cdot m * 0.55 = 12.85 T \cdot m$ ；柱角偶柱之 $M_{頭} = 23.37 * 0.45 = 10.52 T \cdot m$ 。

3. 梁端之力矩分配：由集在一節點之柱頭力矩($M_{柱頭} + M_{柱脚}$)乘以該梁之剛比/(左右梁剛比之和)。
 4. Y 向中間兩排之內梁左右端剛比之和 = $1.5 + 1.5 = 3.0$ ，其中一梁柱頭之 $M = -19.99 T \cdot m$ ，因此柱頂左右端之力矩各為 $19.99 * 1.5 / (1.5 + 1.5) = 10.0 T \cdot m$ 。
 5. 內柱柱頂左右端之力矩各為 $23.71 * 1.5 / (1.5 + 1.5) = 11.86 T \cdot m$ 。
 6. 角偶柱柱頂左/右端之力矩各為 $10.52 * 1.5 / (1.5 + 1.5) = 11.86 T \cdot m$ 。

(五)因橫力對梁產生之應力

1. 梁中央彎曲力矩 $M_0 = (M_{左端} - M_{右端}) / 2$ (如圖 5 所示， M 不包含符號)。

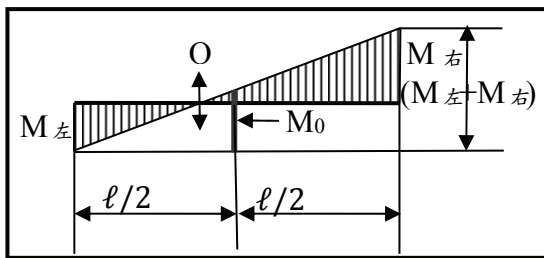


圖 5 梁之中央力矩及剪斷力圖

2. 剛架中央正彎曲力矩 $M_0 : (M_{左} + M_{右}) / 2$
 a. 外梁 $M_0 = (10.0 - 10.0) T \cdot m / 2 = 0 T \cdot m$ 。
 b. 內梁 $M_0 = (11.86 - 11.86) T \cdot m / 2 = 0 T \cdot m$ 。
 3. 梁之剪斷 = $(M_{左端} + M_{右端}) / l$ 。
 (1) 外梁左右端之剪斷力 = $(10.52 + 10.0) T \cdot m / 6m = 3.42 T$ 。
 (2) 內梁左右端 = $(11.86 + 11.86) T \cdot m / 6m = 3.95 T$ 。

9. 柱之軸力 = 梁左右端剪斷力：

- a. 角偶柱 = $(10.52 + 10) T \cdot m / 6m = 3.42 T$ ；(2) 外柱 = $10 T \cdot m / 6m = 3.33 T$ 。(3) 內柱 = $(11.86 + 11.86) T \cdot m / 6m = 3.95 T$ 。

(六)水對池牆產生之靜態應力

1. 剪力： $H_A = 7/45 * a/g * \omega * h^2 = 7/45 * 0.23 * 1 T/m^3 * 5.0m^2 = 0.89 T/m$ 。
 $H_B = 77/180 * a/g * \omega * h^2 = 77/180 * 0.23 * 1 T/m^3 * 5.0m^2 = 2.46 T/m$ 。
 2. 力矩： $M_{+max} = 0.039 * a/g * \omega * h^3 = 0.039 * 0.23 * 1 T/m^3 * 5.0m^3 = 0.12 T/m$ 。
 $M_{-max} = -0.078 * a/g * \omega * h^3 = -0.078 * 0.23 * 1 T/m^3 * 5.0m^3 = -2.24 T/m$ 。
 3. 池水因地震產生之應力情形如圖 6。

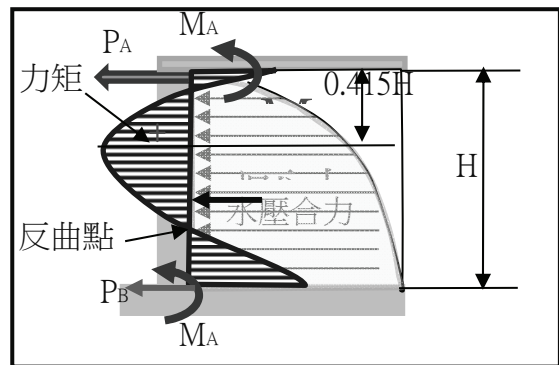


圖 6 池牆受地震力示意圖

(七)因牆身產生之應力

1. 剪力： $H_A = 3/8 * a/g * Wc = 3/8 * 0.23 * (2.4 T/m^3 * 0.30 * 5m) = 0.31 T/m$ 。
 $H_B = 5/8 * a/g * Wc * H^2 = 5/8 * 0.23 * (2.4 T/m^3 * 0.30 * 5m) * (5m)^2 = 12.9 T/m$ 。
 2. 力矩： $M_{+max} = 9/128 * a/g * Wc * H = 9/128 * 0.23 * (2.4 T/m^3 * 0.3 * 5m) * 5m = 0.29 T/m$ 。
 $M_{-max} = a/g * Wc * H / 8 = -0.23 * 2.4 T/m^3 * 0.3m * 5m^2 / 8 = -0.52 T/m$ 。

(八)動態水平力

1. 池內之蓄水係流體，故遇到地震時池內蓄

水必然會左右晃動，因而產生濺起(Sloshing)現象。

2.因濺起引發之最高水位，可依美國土木工程師協會(American Society of Civil Engineers)，ASCE07-05^[2]，有關液體因地震加速度作用引發之動態水平力(漂流分量)加以計算。

3.水池因水平地震造成之側牆底部衝擊橫力 $V=V_i + V_c$ 。式中之 V_i =儲槽及其內裝液體因地震造成之水平慣性力(衝擊分量)。 V_c =液體因地震加速度作用濺起(Sloshing)之動態水平力(漂流分量)， $V_i=(S_{ai} * W_i)/(R/I)$ 。

4. $V_c=S_{ac} * I/1.5 * W_c$ 。

5. $T_c=2 \pi * (D_i/(3.68 * \tanh*(3.68 * h_{max}/L_i))$ 。

6.計算衝擊分量 V_i ，依據 ASCE7-05 土層之剪力彈性波速判定，設某地區地盤分類為 D，其 $S_s=0.75$ ，由表可查得當 $S_s=0.7$ 時 $S_{D1}=0.35$ ， $S_s=0.30$ 時 $S_{D1}=0.48$ ，線性內插 $S_s=0.7$ 時 $S_{Ds}=0.746$ ， $S_i=0.35$ 時 $S_{D1}=0.56$ 。
 $T_s=S_{D1}/S_{Ds}=0.56/0.746=0.75$ 秒。

7.式中之 S_{SD} 為工址短週期設計水平譜加速度係數； S_{D1} 代表工址所屬震區在堅實地盤下，一秒週期結構之 5% 阻尼譜加速度與重力加速度 g 之比值。

8.水池結構基本振動周期 $T_i = 0.475$ 秒。 $T_i \leq T_s$ ，則 $S_{ai}=S_{Ds}=0.746$ 秒。

9. $V_i=S_{Ds}/2 * I * W_i=0.746/2.0 * 1.25 * W_i=0.47W_i$ 。
式中 I =用途係數 1.25。

10. $T_c=(2 \pi * L_i/(3.68g * \tanh*3.68 * h_{max}/L_i))^{0.5}$
 $=2 * 3.14 * 19/(3.68 * 9.8 * 4.4/5.0 * 3.68 * 4.4/19)^{0.5}=5.26$ sec。式中 L =配水池內長度=19.0m， $\tanh=($ 最大靜水位高度 $h_{max})/$ 牆高=4.4m/5m=0.88。

11.計算濺起之動態水平力 V_c ， $T_c \leq T_L=4 \sim 12$ 秒，(查 ASCE7-05 圖 No.22.15)，
 $S_{ac}=1.5 * S_{D1}/T_c=1.5 * 0.56/5.26=0.16 \leq 1.5$
 $S_{Ds}=1.5 * 0.75=1.125$ ， $V_c=S_{ac} * I/1.5 * W_c=0.16 * 1.25/1.5 * W_c=0.133$ 。

12.濺起之波高 $\delta_s=0.5 * D_i * I * S_{ac}=0.5 * 19 * 1.25 * 0.13=1.54$ m。因水池設有頂版，因此濺起之水位仍以牆高為限，故 δ_s 以 0.6m 計。

13.設 W_i 為池內滿水時之池水之總重量，則 $W_i=1600T$ ， W_c 為濺起波高之重量
 $W_c=W_i * \delta_s/h_{max}=1600 * 0.6/4.4=218.2T$ 。
 $V_c=0.06W_c=0.06 * 218.2=13.1T$ 。

14.水池內因最高水位引發之衝擊橫力
 $V=V_i+V_c=0.746W_i+0.06W_c=0.47 * 1600+13.1=765.1T$ 。

15.牆單位長度承受之衝擊橫力=765.1T /19m=40.27T/m。

16.由於牆底之力矩與底版會產生誘發力矩。故須先計算底版應力，再做進一步計算牆底與底版之最終力矩。

三、垂直震度產生之應力

1.垂直震度對頂板及底版而言，其因向上或向下之垂直震度會減少或增加構件之荷重，惟其增加之應力理論上只約增加 $K_v=0.23/2=0.115$ 倍(荷重與應力成正比)，向上震度會減少荷重，可予忽略。

2.頂版單位面積因垂直震度增加之荷重
 $=((0.3T/m^2)/2+2.4T/m^3 * 0.15m) * 0.115 = 0.0586$
 T/m^2 。該值只為長期荷重下之荷重
 $(0.0586T/m^2/0.66 T/m^2) * 100\% = 8.9\%$ ，可謂微不足道，故可予忽略，同理對底版而言亦

全。

四、長期及短期應力之整合

(一)版之應力

1.頂版因垂直震度增加之荷重微不足道，故可予忽略，因此版之力矩應由長期應力控制。

(二)大梁之應力

1.彎曲力矩

(1)大梁之彎曲力矩，以 Y 向內跨大梁為例，其長期與短期力矩整合如表 1。

表 1 Y 向內跨大梁力矩整合表

長期短期剪力 (T/m)		左端	中央	右端
長期	垂直荷重	4.87	10.8	4.87
短期	地震橫力	11.86		

(2)由表 4 可知外梁端點及中央之長期力矩 > 期力矩/3，故應採用長期應力。

2.剪力

(1)大梁之彎曲力矩，以 Y 向內跨大梁為例，其長期與短期力矩整合如表 2。

表 2 Y 向內跨大梁剪力整合表

長期短期剪力(T/m)		左端	右端
長期	垂直荷重	3.73	3.73
短期	地震橫力	3.95	3.95
合計		6.69	6.69

(2)由表 5 可知梁之短期剪力 > 長期剪力，故不僅應採用短期應力而且兩者必須相加，但因規範上規定應付短期應力時，其原有容許應力可提高 1/3，因此相加前須

先將其應力折減 1/3，其最終剪力 = 3.73T/m + 3.95T/m * 3/4 = 6.69T/m。

(三)柱之應力

1.柱上部之荷重(0.528 T/m²*負擔面積)。牆上大梁自重 = (2.4T/m³*(0.6-0.12)*6m*1 支 = 2.42T。內柱之自重 = 2.4T/m³* (0.55*0.55*5)m³ = 3.63T。外柱 2.4T/m³* (0.5*0.5*5)m³ = 3T 及角偶柱 = 2.4T/m³* (0.45*0.45*5)m³ = 2.43T。

2.外柱之荷重：0.528 T/m²*6m*3m + 2.42T*1.5 支 + 3T = 16.13 T。內柱之荷重 = 0.528T/m²*6m*6m + 2.42T*2 支 + 3.63T = 27.48T。角偶柱上部之荷重 = 0.528T/m²*3m*3m + 2.42T*1 支 + 2.43T = 9.60T。

3.柱內、外及角偶柱之長期及短期軸力，詳如表 3。

表 3 Y 向柱之長短期力整合表

Y 向之長短期應力			角柱	內柱	外柱
軸力 P _y (T)	長期	荷重	9.60	27.48	16.13
	短期 (地震)	地震	3.42	3.95	3.64
		因牆	35.32	無牆	35.32
	合計		38.66	30.44	45.35

4.柱內、外及角偶柱之長期及短期力矩，詳如表 4。

表 4 Y 向柱之長/短期力整合

Y 向之長短期應力			角柱	內柱	外柱
力矩 M _y (T-m)	長期	荷重	0.87	-0.28	-0.28
	短期	地震	23.27	23.6	
	合計		18.32	17.98	15.20
力矩 M _y	長期	荷重	1.13	-0.36	-0.36
	短期	地震	23.27	23.6	

(T-m)	合計	18.58	18.06	15.28
-------	----	-------	-------	-------

(四)池牆之應力

- 1.池牆在發生地震時，池內蓄水因靜態水平橫力產生力矩必然小於動態力矩，因兩者不可能同時發生，因此整合時應取其較大者。
- 2.池牆長期及短期應力之整合，詳如表 5。

表 5 池牆長短期應力之整合表

應力別	原因	大小	備註
剪力 (T/m)	水壓	8.33	
	地震(牆)	12.9	
	動態衝力	40.27	
	水平橫力	17.16	
	合計	61.5	
力矩 (T-m)	水壓	-5.0	垂直
	水平橫力	-14.30	
	地震(牆)	-0.52	
	合計	-16.12	
	水壓	-5.94	水平

五、版與牆端點力矩重新分配

(一)重新分配之原因

頂版端點與牆頂端之原始力矩可分別由其相關公式求得，但兩者絕可能正好大小相同方向相反，惟依力矩平衡原理，這種現象絕不可能存在。因此兩者之端點力矩必須再予以重新分配。底版端點與牆底端之力矩亦然。

(二)重新分配之原則

- 1.先求頂版之剛度 $K_{頂版}=I/L$ ；牆之剛度 $K_{牆}=I/H$ 。
- 2.頂板與牆之分配比 $D_{頂版}=K_{頂版}/(K_{頂版}+K_{牆})$ ；

$+K_{牆}$ ； $D_{牆}=K_{牆}/(K_{頂版}+K_{牆})$ 。

- 3.求頂版端點與牆頂端原始端點力矩之和 ΣM 。
- 4.誘發力矩 $M_{頂版}=-\Sigma M * D_{頂版}$ ； $M_{牆}=-\Sigma M * D_{牆}$ (誘發力矩必須變號)。
- 5.池牆之剛性 $t_w^3/H=((45+30)m/2)^3/500=105.5$ ；底版之剛性 $t_b^3/l=45cm^3/600m=151.88$ 。
- 6.牆之力矩分配係數 $=105.5/(105.5+151.88)=0.41$ ；底版之力矩分配係數 $=106.7/((93.312+106.7)=0.59$ 。
- 7.池牆與底版之原有力矩經重新分配後，牆底之力矩 $=-16.12T-m$ ；底版之力矩 $=24.07T-m$ 。兩者之力矩重新分配之計算式詳如表 8。
- 8.頂版固定於大梁上，非連結在池牆頂端，故其端點力矩由大梁吸收，於池牆無關，故池牆支端點力矩不須與頂版之端點力矩重新分配。因此表 6 之傳導力矩係來自底版之另一端。

表 6 牆底與底版力矩分配表

	牆底		底版	
F.E.M.	-16.12	F.E.M.	-6.27	
分配比	0.41	分配比	0.59	
合計 F.E.M.	-22.39			
誘發力矩	9.18	誘發力矩	13.21	
傳導力矩	---	傳導力矩	6.61	
誘發力矩	-2.71	誘發力矩	-3.90	
傳導力矩	---	傳導力矩	-1.95	
誘發力矩	0.80	誘發力矩	1.15	
最終力矩	-8.85	最終力矩	8.85	

- 9.牆底端力矩由-16.12T-m 減為*8.85T-m，可

見其誘發力矩 $= (16.12-8.85)T\cdot m=7.27T\cdot m$ ，
因此池牆原正力矩 $4.48T\cdot m$ 亦減為
 $(4.48-7.27)=-2.79T\cdot m$ 。

10. 底板中央正力矩原為 $4.75T\cdot m$ ，其誘發力
矩 $= (-6.27-8.85)T\cdot m=15.12T\cdot m$

六、版梁柱及牆之結構設計

(一)頂版之結構設計

1. 短邊上層(負力矩) 採用 $13\text{ mm } \phi$ 所需之=
鋼筋量 $A_t=0.493T\cdot m/m/0.0122/(15$
 $-4)\text{cm}=3.67\text{cm}^2$ ，間距 $=100/3.67=21.04\text{ cm}$ ，
採用@20cm。
2. 下層(正力矩)所需之配筋 $A_s=0.368/$
 $0.0122/(15-4)=2.74\text{cm}^2$ ，而溫度鋼筋
 $A_s=0.3\%*(15-4)*100=3.3>2.74\text{ cm}^2$ ，故應以
溫度鋼筋之需要量為準，採用 $13\text{ mm } \phi$ 間
距 $=100/3.67=21.61$ ，採用@ 20cm。
3. 根據德國建築法規之規定：連續版之正負
力矩是因活載重而產生者，可只取計算值
之 50%，此乃考慮支撐梁之扭轉抵抗所產
生之影響。
4. 依此規項上述正、負力矩分別 $=0.368\text{ T}\cdot m$
及 $-0.493T\cdot m$ ，其 50%均小於 3.3，因此頂
板之鋼筋上下兩層均可採用溫度鋼筋所需
之鋼筋量。
5. 長邊之正、負力矩係數 C 經查表，分別為
0.025 及 -0.033，故其力矩分別為
 $M_+=0.025*0.66T/m^2*(3m)^2=0.148T\cdot m/m$ ；
 $M_-=-0.033*0.66T/m^2*(3m)^2=-0.196T\cdot m/m$ 。
其所需之配筋量 $A_s=0.196/0.0124$
 $/11=1.44<2.74\text{ cm}^2$ ，故仍應以溫度鋼筋之需
要量為準，採用 $13\text{mm } \phi @20\text{cm}$ (上下層)。
版之結構設計：厚度 $=15\text{cm}$ ，X 向及 Y 項

之配筋均採用 $13\text{mm } \phi @20\text{cm}$ 。

(二)小梁版之結構設計

1. 設梁高 $=l/12=6m/12=0.5m$ ，寬 30cm ，梁自
重 $=2.4T/m^3*0.3m*(0.5-0.15)m=0.252\text{ T/m}$ 。
 2. 總荷重 $=0.9+1.08+0.252=2.232T/m$ 。
 3. 端點之力矩 $M=-\omega l^2/12=-2.232\text{ T/m} *$
 $(6m)^2/12=6.7T\cdot m$ 。中央力矩 $=\omega l^2/24 =2.232$
 $T/m*(6m)^2/24=3.35T\cdot m$ 。
 4. 兩端需要鋼筋量 $A_t=6.696T\cdot m/$
 $0.0122/(50-4)\text{cm}=9.84\text{cm}^2$ ，採用 16 mm ，根
數 $=9.84/1.986=4.95$ 根，採用 5 根，其間距
 $S=100/5=20\text{cm}$ ，實際 $A_s=1.986*5=9.93\text{ cm}^2$ ；
總周長 $\Sigma O=5\text{cm}/根*5=25\text{ cm}$ 。
 5. 兩端之剪力 $Q_0=((0.3+2.4*0.15)T/m^2*18m^2+$
 $2.25T/m*6m)/2=12.69\text{ T}$ 。
 6. 核算剪應力： $\nu = /jbd=12.69T*1000/$
 $0.872/30\text{cm}/(50-4)\text{cm}=10.69\text{kgf}/\text{cm}^2<22.5\text{kgf}/\text{c}$
 m^2 ，OK。
 7. 肋筋之間距 $x=A_s*t_f/Q_0/jd=9.93\text{cm}^2*$
 $1400\text{kgf}/\text{cm}^2/12.69T/(0.872*46\text{cm})=27.31\text{ cm}$ ，
採用 25cm 。
 8. 核算握裹力： $\mu=V/\Sigma Ojd=12.69T*1000$
 $\text{kg}/T/25\text{cm}/0.872/46\text{cm}=12.65\text{kg}/\text{cm}^2<12.36\text{kgf}$
 $/\text{cm}^2$ ，不 OK。
 9. 鋼筋改用 6 支， $\Sigma O=5\text{cm}/支*6\text{支}=30\text{cm}$ ，
 $\mu=12.69T*1000\text{kg}/T/30\text{cm}/0.872/46\text{cm}=10.69$
 $\text{kgf}/\text{cm}^2>12.36\text{ kgf}/\text{cm}^2$ ，OK。
- ### (三)大梁之結構設計
1. 大梁之寬度 * 高度 $=35\text{cm}*60\text{cm}$ ，當
 $f_s/n/f_c'=1,880/9/245$ 時， $K=18.66$ ，T 形梁斷
面之最小厚度 $d=(M/Kb)^{0.5}=(6.93$
 $T\cdot m*100000/(18.66*100\text{cm}))^{0.5}=19.27\text{ cm}$ 。
 $h=19.27\text{cm}+4\text{cm}=23.27\text{cm}<60\text{cm}$ ，這表示大

梁所受之最大力矩時，混凝土之抵抗彎矩大於作用彎矩，故不需受壓鋼筋。

2.若混凝土之抵抗彎矩小於作用彎矩，則需受壓鋼筋。假設其力矩差為 ΔM ，則 $A_{sc} = \Delta M / ad$ 。

3. 需要負鋼筋量 (梁上層) $A_s = M / ad = 6.93T\text{-m} / 0.0122 / (60-4)\text{cm} = 10.14\text{cm}^2$ ；採用 16mm ϕ 鋼筋，根數 $= 10.14\text{cm}^2 / 1.986\text{cm}^2 = 5.11$ 根，採用 6 根。

4. 正鋼筋量 (梁下層) $A_s = M / ad = 10.8T\text{-m} / 0.0122 / (60-4)\text{cm} = 15.81\text{cm}^2$ 。

5. 梁上層採用 19mm ϕ 鋼筋，根數 $15.81\text{cm}^2 / 2.865\text{cm}^2 = 5.52$ 根，採用 6 根。

6. 肋筋之間距 $x = A_{st} * ft / Q_0 / jd = 15.81\text{cm}^2 * 1400\text{kgf/cm}^2 / 6.69T\text{/m} / (0.87 * 46\text{cm}) = 82.67\text{cm}$ ，鋼箍採用 13mm ϕ 採用 25cm。

7. 大梁之扭轉力矩來自頂版端點力矩 $MT = 0.55T\text{-m}$ 。大梁之 $I_p = 35 * 60^3 / 12 + 60 * 35^3 / 12 = 0.08\text{m}^4$ 。

8. 頂版之端點負力矩長期及短期應力之合為 $M = -0.493T\text{-m} / m(1 + 0.125 * 3/4) = -0.54T\text{-m} /$ 。

9. 扭轉剪應力 $\tau_t = M * T * y / I_p = 0.54T\text{-m} * (35/2) / 0.08\text{cm}^4 * 1000 / 10000 = 11.79\text{kg/cm}^2 < 12.0\text{kgf/cm}^2$ ，OK。

(四)柱之結構設計

1.將表 5 及表 6 所列內柱之長期與短期之軸向力合計 30.44T、X 向及 Y 向之力分別為 18.06T-m 及 17.98T-m 與、柱之尺寸，保護層 7.5cm、 f_c' 、 f_s' 等資料，分別輸入「雙軸彎曲矩形柱校核程式---程式使用手冊」^[6]，但該程式所採用之 f_c' 有 210、280 及 350kgf/cm² 三種，沒有本例採用長期應力 245 kgf/cm²，只好採用 $f_c' = 210\text{kgf/cm}^2$ (較為

保守)。經電腦程式計算結果，鋼筋採用 19mm ϕ ，共 8 支，得其所需之鋼筋量 $= 22.92\text{cm}^2$ ($pt = 0.7577\%$)，尚屬合理。

(五)牆之結構設計

1.池牆(X 向)之力矩 $M = -8.85T\text{-m}$ ，需要之鋼筋量 $A_s = 8.85T\text{-m} / 0.0148 / (45-7.5)\text{cm} = 15.95\text{cm}^2$ ，內側採用 19mm ϕ 鋼筋，間距 $S = 100 / (15.95 / 2.865) = 17.97\text{cm}$ ，採用 15cm。

2.牆因水壓產生之長期正力矩 $= 2.79T\text{-m}$ ，外側需要鋼筋量 $A_s = M / ad = 2.79T\text{-m} / 0.0122 / (45-7.5)\text{cm} = 6.01\text{cm}^2$ ，需要量不大，故須核算溫度鋼筋 $A_s = 0.25\% * (45-7.5)\text{cm} * 100 = 9.4\text{cm}^2$ ，採用 16mm ϕ 鋼筋，間距 $S = 100 / (9.4 / 2 / 1.986) = 42.25\text{cm}$ ，採用 30cm。

3.與地震橫力平行方向之池牆，承受之力矩 $= 19.76T\text{-m}$ ，其所需要之鋼筋量 $A_s = M / ad = 19.76T\text{-m} / 0.0148 / (600)\text{cm} = 2.23\text{cm}^2$ (牆兩側僅靠外柱，故不需扣除保護層)，需要量也很小，故內外兩側均採用上述溫度鋼筋即可。

4.牆底因整體水池地震所產生之水平剪力 (與牆垂直) $= 61.5T\text{/m}$ ，其剪應力 $v = 61.5T\text{/m} * 1000\text{kg/T} / (100\text{cm} * 0.872 * ((45-7.5)\text{cm})) = 18.81\text{kg/cm}^2 < 22.05\text{kgf/cm}^2$ 。

5. 牆之最小厚度 $d_{min} = (M / Kb)^{0.5} = (8.81T\text{-m} / (18.44 / 100\text{cm}))^{0.5} = 6.92\text{cm}$ ， $h = (6.92 + 7.5)\text{cm} = 14.472\text{cm} < 45\text{cm}$ ，OK。

6. 池牆水平向需要之鋼筋量 $A_s = M / ad = 5.94T\text{-m} / 0.0148 / (45-7.5)\text{cm} = 10.70\text{cm}^2$ ，外側採用 19mm ϕ 鋼筋，間距 $S = 100 / (10.70 / 2.865) = 26.77\text{cm}$ ，採用 25cm。

7. 內側採用溫度鋼筋 $A_s = 0.25\% *$

$(45-7.5)\text{cm} \times 100 = 9.4\text{cm}^2$ ，採用 16mm ϕ 鋼筋，間距 $S=100/(9.4/2/1.986)=42.25\text{cm}$ ，採用 30cm。

(六)底版之結構設計

- 1.由表 8 底版端點最終負力矩 $=-8.85\text{T-m}$ ，其鋼筋需要量 $A_s=8.85\text{T-m}/0.0148/(45-7.5)\text{cm}=15.95\text{cm}^2$ ，下層採用 19mm ϕ 鋼筋，間距 $=100/(15.95/2.865)=17.97\text{cm}$ ，採用 15cm。
- 2.底版中央正力矩由 4.75T-m，其誘發力矩 $=15.12\text{T-m}$ ，因此須修正為 $(4.75+15.12)\text{T-m}=19.87\text{T-m}$ ，其所需要鋼筋量 $A_s=19.87\text{T-m}/0.0148/(45-7.5)\text{cm}=35.80\text{cm}^2$ ，上層採用 25mm ϕ 鋼筋，間距 $=100/(35.80/5.604)=15.65\text{cm}$ ，採用 15cm。
3. $d_{\min}=(35.80 \times 1000 / (0.87 \times 100\text{cm}))^{0.5}=20.86\text{cm}$ ， $h=(20.86+7.5)\text{cm}=28.36\text{cm} < 45\text{cm}$ ，OK。
- 4.底版之總反力=水池全部載重(含底版及水) $W/A=(2024.73+46.08+432)\text{T}/(20\text{m} \times 20\text{m})=2502.81\text{T}/400\text{m}^2=6.26\text{T}/\text{m}^2$ 。
- 5.因地震橫力對底版底部之傾導力矩(圖 11 中之 a 點)產生之力矩 $M=0.23 \times (60\text{T} \times (0.15+5+0.45)\text{m} + 129.96\text{T} \times (0.15/2+5+0.45)\text{m} + 13.6\text{T} \times (5-0.5+0.35/2+0.45)\text{m} + 54.43\text{T} \times (5-0.6+0.45/2+0.45)\text{m} + 171.07\text{T} \times ((5-0.6)/2+0.45)\text{m} + 24.48\text{T} \times ((5-0.6)/2+0.45)\text{m} + 12.7\text{T} \times ((5-0.6)/2+0.45)\text{m} + 1588.4\text{T} \times (4.4/2+0.45)\text{m} + 0.0741 \times (84.24 \times (1/2+0.45) + 7.2 \times (1/2+0.45))\text{m} + 0.0736 \times 432\text{T} \times 0.45\text{cm}/2=6174.9\text{T-m}$ 。
- 6.水池抗傾導力矩 $=2502.81\text{T} \times (20/2)\text{m}=25028.1\text{T-m} > 6174.9\text{T-m}$ ，因此沒有傾倒之

虞，對土壤而言亦不會產生二次應力。

- 7.若工址之土壤承载力為 $5\text{T}/\text{m}^2$ ，而底版總反力 $=2542.23/(20\text{m} \times 20\text{m})=6.36\text{T}/\text{m}^2 < 5.0\text{T}/\text{m}^2$ ，不 OK。
- 8.上述底版之單位總反力 p 大土壤承受之總承载力，除可加大底版之面積外，也可加打基樁。
- 9.若用地沒問題，以加大底版面積最為簡單，只要長與寬各增加 1 公尺，則其總反力會降 $p=(9.35\text{T}/\text{m}^2 \times 20\text{m} \times 20\text{m} + 2.4\text{T}/\text{m}^3 \times 0.45\text{m} \times 21\text{m} \times 21\text{m})/(21\text{m} \times 21\text{m})=9.56\text{T}/\text{m}^2 < 10.0\text{T}/\text{m}^2$ ，OK。
- 10.若不便加大底版面積，則只好加打基樁。假設工址土壤摩擦力 $=5\text{T}/\text{m}^2$ ，則採用 30cm ϕ *10m 長之 RC 預鑄樁，其每支樁之摩擦力 $=3.14 \times 0.3\text{m} \times 6\text{m} \times 5\text{T}/\text{m}^2=28.26\text{T}/\text{支}$ 。
- 11.設工址之土壤單位摩擦力為 $\pm 4\text{T}/\text{m}^2$ ，若採用 30mm ϕ *9m 長預柱混凝土樁，則其承载力 $=4\text{T}/\text{m}^2 \times 3.14 \times 0.3\text{m} \times 9\text{m}=33.91\text{T}/\text{支}$ 。
- 12.土壤不足之承载力 $=2542.23-5 \times 400=542.23\text{T}$ 。
- 13.需要樁數 $=542.23\text{T}/33.91\text{T}/\text{支}=15.99\text{T}/\text{支}$ ，採用 16 支。可於每支之下設一支，則其間距 $x=6\text{m}$ ，依照規範 $x \leq 2.5 \times d$ ，而 $6\text{m} > 2.5 \times 0.3\text{m}=0.75\text{m}$ ，OK。

七、核算安全性

(一)傾倒

(因垂直重力產生抗傾倒力矩)/(因地橫力產生傾倒力矩) $=25028.1\text{T-m}/6174.9\text{T-m}$

=4.05 ≥ 1.25, OK。

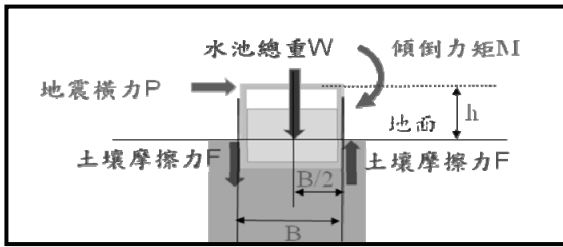


圖 7 傾倒作用力示意圖

(二)浮起

假設水池埋深 2.0m，地下水位在離地面下 1.0m 處。浮力=1T/m³*(0.45*20*20 +(1-0.45-19m*19m*1m)≐378.55T < 2,510T, OK。上式忽略柱突出部分，可加計土壤與池牆 1m 深之摩擦力(地下水位以下部分原則上不計摩擦力)。

(三)滑動

水池因垂直重力產生與土壤間摩擦產生之抗滑動力) / (因地橫力產生之橫向作用力)，設水池總重量=W，則(f*W)/(水平衡力 P) ≥ 1.25。f=土壤摩擦係數。

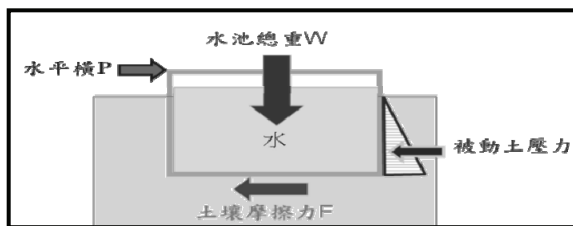


圖 8 滑動作用力示意圖

(四)下陷

當水池底版建於地下只約 1.0 公尺時，(水池總重量 W)/(水池總基礎面積 A)，即 W/A ≥ T(土壤容許承载力，由地質鑽探得知)時，水池就有會下陷之虞。惟當水池底版建於地下約 1.0 公尺以上時，水池可考慮期持牆與

土壤間之摩擦力，設f=土壤與水池池牆間之單位面積摩擦力，則(水池總重量 W-f*a)/(水池總基礎面積 A)，a 為水池四周牆壁與土壤接觸面積，當(W-f*a) ≤ T 時，水池就無下陷之虞。

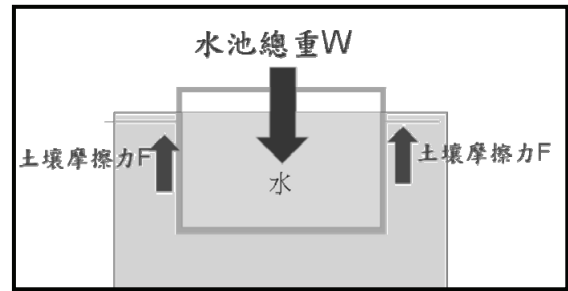


圖 9 下陷滑動作用力示意圖

八、結論與探討後之建議

- 1.類似本例有蓋版大容量之矩形水池在其四週池牆上並不需加設支柱；也不需加設小梁。而且大梁之設計應採用連續式以降低跨距中央之正力矩。
- 2.小梁所需之鋼筋量 $A_t=9.84\text{cm}^2$ ，若採用 16 mm ϕ ，其所需之根數=4.95 根採用 5 根，間距 $S=100/5=20\text{cm}$ ，實際 $A_s=1.986*5=9.93\text{cm}^2$ ；但因總周長 $\Sigma O=5\text{cm}*5\text{根}=25\text{cm}$ 。致使握裹力： $f_{\mu}=12.831\text{ kgf/cm}^2 >$ 容許應力 12.36 kgf/cm^2 ，而需改用 6 支，使 $\Sigma O=5*6=30\text{cm}$ ，則 f_{μ} =降為 $10.69\text{ kgf/cm}^2 >$ 容許應力 12.36 kgf/cm^2 ，OK，此時之總 $A_s=1.986*6=11.916$ 比實際需要量 9.84 cm^2 多出 2.076 cm^2 。尚可接受，而肋筋之間距因鋼筋之抗張應力降為 1400，而鋼筋實際面積增加為 11.916cm^2 ，因此肋筋之間距 $S=A_s*t_f/Q_0/jd=11.92\text{cm}^2*1400\text{kgf/cm}^2/12.69T/(0.86*46\text{ cm})=33.23\text{cm} > 30\text{ cm}$ 採用 30cm。

- 3.其實上述小梁肋筋之間距只指剪力最大處(小梁之起點)，小梁之中點其剪力=0，並不需肋筋，而其大小之變化是呈直線形，亦即小梁自起點 1/4 處之剪力只有最大值之 1/2，理論上其間距可增為 $2*30\text{cm}=60\text{cm}$ ，但規範上規定肋筋之最大間距不得達於 30cm，因此小梁全長均需以@30cm 排紮肋筋。
- 4.一般計算土壤之淨反力(向上推力)時，底版上部之荷重都將池內裝水之寬度視與底版同寬，故不計畫滿水及底版之重量(土壤之反力與水及底版重上下相抵)。其實兩者至少相差兩邊池牆之厚度(若設有底版突緣其相差更大)。這如此假設在計算池內之力矩時，其值會比實際發生大；而在計算池外內突緣之力矩時，其值會比實際發生小。故建議計算土壤之淨反力時仍以計入水重，再以實際發生值分別計算池內及外內突緣。
- 5.池牆與底版求得之誘發力矩應分別乘以其各段之力矩細數加入原已求得之力矩，其代數始為池牆及底版各段之最終力矩。例如上述求得池牆之誘發力矩=6.86T-m/m。

參考文獻

- 1.結構力學設計手冊：清田清司及高須治男原著，江新煌及蔡振邦編譯，1978年7月，第87頁(II.10.2) 第75頁、
2. 池水動態水平力：美國土木工程師協會(American Society of Civil Engineers)，ASCE07-05。II.7.9及II.7.16)。
- 3.鋼筋混凝土設計手冊工作應力法：混凝土工程研究會報告(四)。
- 4.雙軸彎曲矩形柱校核程式---程式使用手冊

：土木工程師學會。

作者簡介

曾浩雄先生

現職：尚潔環境工程公司技師。

專長：自來水工程規劃、設計及施工。

建置即時修漏進度追蹤系統提升修漏服務品質之探討

文/黃郁婷

一、前言

自來水設施不可避免的，會有漏水的情形。根據研究指出，自來水設備平均損失 20% 的自來水在漏水以及消防用途上。自來水公司應致力於避免漏水以及迅速對漏水問題做出反應。要迅速處理漏水問題，自來水公司就要提升修漏整體服務。

一般用戶及民眾與自來水公司有往來的時機，除了在繳交水費及申辦各項業務外，多是當發現有漏水情形時，聯絡自來水公司前往修理。目前，自來水公司內部建置修漏系統來管控修漏業務，登錄各通報修漏案件是否已處理完成，並管控是否有逾期未處理之通報修漏案件。用戶及民眾多是以電洽的方式通報自來水公司，修漏單位再派員前往修漏。以人工方式通報修漏，用戶及民眾必須撥打自來水公司免付費專線或電洽自來水公司，客服人員或櫃台人員將通報修漏資訊輸入電腦內，修漏承辦人員進入自來水公司的修漏系統查詢後，自行或電話派員前往修漏。修漏人員必須手記修漏地點、報修用戶及報修者聯絡方式前往修漏。

在現行的修漏業務流程下，用戶無法得知修漏人員何時將前往修漏，以及即時的修漏情形。欲得知修漏人員何時將前往修漏以及即時修漏情形，通報修漏之用戶及民眾必須電洽修漏單位，修漏單位電詢修漏承辦人

員修漏情況後，再人工以電話回報給通報修漏的用戶及民眾。漏水情況如果後續再度出現問題時，用戶及民眾又必須再行電洽修漏單位通報。在修漏業務流程不透明的情形下，也無從得知整體修漏服務的品質。本文提出建置一套即時的修漏進度追蹤系統供民眾及自來水公司使用，以期提升修漏的整體服務品質。

二、文獻回顧

根據 Riddle (1986)，服務業分為五大類如下表 1。

表 1 服務業分類

1	企業服務(business services)： 金融銀行、會計師事務所、顧問業、人力仲介等
2	貿易服務(trade services)： 批發零售、國際貿易、維修保養等
3	基礎建設服務(infrastructure services)： 營建、交通運輸、通訊、郵電等
4	社會／個人服務(social/personal services)： 餐飲飯店、休閒娛樂、醫療保健等
5	公共行政(public administration)： 政府部門、教育機構、公共服務機構等

服務有四大特性：無形性(intangibility)、異質性(heterogeneity)、易逝性(perishability)與不可分割性(inseparability)(Regan, 1963)。Gronroos (1984)將服務品質區分為技術及功

能品質，兩者皆會影響企業的形象，而服務品質是顧客對於服務的期望與接受服務的實際知覺兩者相互比較所產生。Gronroos (1984)的服務品質模式如下圖 1。

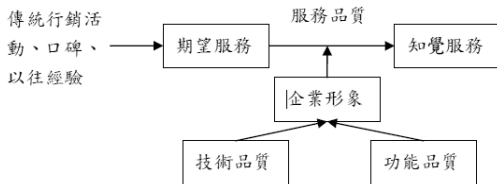


圖 1 Gronroos 的服務品質模式

資料來源：Gronroos, C. (1984), A Service Quality Model and Its Marketing Implication, *European Journal of Marketing*, 18(4), 40.

Parasuraman, Zeithaml, and Berry (1988) 提出 SERVQUAL 量表來衡量服務品質，並提出服務品質是一種對服務長期、整體，可以態度來視之的評估。服務品質是在傳遞過程及服務提供者和消費者互動的過程所產生，由被服務者比較其對服務的預期以及實際感受的知覺兩者而得。SERVQUAL 量表將服務品質建構為五個構面：可靠性 (reliability)、有形性 (tangibility)、反應性 (responsiveness)、保證性 (assurance)，以及同理心 (empathy)。五個構面的定義如表 2。

談到服務，則必須檢視企業流程。根據 Hammer and Champy (1993)，企業流程為企業集合各類型資源，生產顧客所需產品的一連串活動。當客戶有需求時，作業流程才有起點，一切運作才有意義和價值。Davenport and Short (1990)則將企業流程定義為：為了達成企業特定的結果，而執行一組邏輯上相關之業務活動。且企業流程有兩個重要的特徵：一、流程中要有服務的客戶，即流程會有一已定義的產出，並且會有此一產出的接受

者，可能是公司內部或是公司外部。二、流程可跨組織的疆界，即企業流程會跨越組織內部部門與部門之間甚至組織與組織的範圍。

表 2 SERVQUAL 服務品質組成構面表

構面	定義
可靠性 reliability	服務執行過程中的可依賴程度、穩定性及一致性，能可靠及正確地執行所承諾的服務。
有形性 tangibility	服務的實體設備。包括硬體設施、提供服務的工具與設備、服務人員儀表等。
反應性 responsiveness	服務人員提供即時服務的意願和敏捷度及提供快速服務與幫助顧客的意願。
保證性 assurance	服務人員具有知識、有禮貌，且能獲取顧客信賴的能力。包括提供專業服務的知識和技能，對顧客真誠、體貼、有禮貌。重視顧客權益，進而讓顧客感到信賴，免於危險和疑慮。
同理心 empathy	給予顧客關心及個別關懷的照顧，能與顧客做有效的溝通，並盡力去了解顧客的需求。

資料來源：Parasuraman, A., Valarie A. Zeithaml, & Leonard L. Berry. (1988), SERVQUAL: A Multiple-item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality, *Journal of Retailing*, 64, 38-40.

此外，藉由工作流程管理系統，一個企業流程中從始至終的過程可以被完整的呈現。它將企業流程中的資訊以電子表單 (E-Form)的方式呈現，藉由系統的運作，並依照流程活動執行的先後順序將表單自動化的傳遞，可監控企業流程的運作，整合企業組織的資源，發揮企業內部資訊運用的最大效益 (Bae et al., 1999)。Mak et al. (1999)提出，企業導入工作流程管理系統有五項優點：

1.增進作業的品質：工作流程管理系統對於

同時處理的工作，可以有效率地分配資源，無形中減少不必要的等待，使公司作業品質提升。

- 2.降低成本：導入工作流程系統可以減少人力及工時。對企業而言，可降低營運成本。
- 3.提升生產力：工作的自動化及採用工作流程管理系統後，可適當的精簡作業流程，對於生產力的提升有顯著的幫助。
- 4.作業最佳化：工作流程管理系統跨越了以紙張為基準的管理限制，可幫助公司了解作業程序，進而精簡流程，使作業流程最佳化。
- 5.加強對客戶的服務：透過工作流程管理系統，可用更具彈性的作業方式滿足不同層次客戶的不同需求，有助於改善企業競爭力。亦可大幅減少人工作業的需求，縮短工時，更迅速的對客戶做出回應。

三、建置即時修漏進度追蹤系統

影響修漏業務服務品質的因素主要包含：1.當天修漏廠所接獲的案件多寡；2.修漏廠所通報修漏的速度及正確性；3.修漏人員素質；4.修漏地點的交通便利性；5.修漏現場的修漏難易程度等。現行的修漏服務起始於自來水用戶或民眾致電自來水公司免費客服專線或自來水公司各廠所，客服人員或櫃台人員接獲通報後，將修漏資訊輸入系統，修漏承辦人員再親自或電洽廠商前往修漏地點修漏。

由於修漏工作流程並不透明，通報之用戶及民眾並無從得知修漏的即時資訊，包括修漏人員將何時前往，何時抵達修漏地點，以及修漏情形等。通報修漏之用戶及民眾必

須再次致電客服中心或自來水公司修漏單位詢問，或反應相關問題。

本文提出建置一套即時的修漏進度追蹤系統，添設修漏人員可攜式裝置，可攜式裝置內可顯示修漏地點及其他必要資訊，內建供修漏人員輸入接獲修漏時間、抵達修漏地點時間、完成修漏時間並即時上傳等功能，以及有照相功能以利拍攝修漏現場照片並上傳至修漏進度追蹤系統。將修漏工作流程即時公開化，增加修漏服務流程的透明度，結合現在自來水公司網站上既有的線上通報修漏功能，來提升修漏整體服務品質。自來水用戶及民眾可以在通報修漏後，即時在線上查詢修漏服務的整體流程，並可以再次通報修漏、回應修漏相關訊息，或提出問題等。

修漏進度追蹤系統顯示如下頁圖 2，功能敘述如下：

- 1.用戶可自行使用修漏進度追蹤系統通報修漏，或電洽修漏單位通報修漏。用戶自行線上通報修漏時，輸入姓名、修漏地址，以及聯絡電話等資訊後，系統即自動產生一組唯一的修漏編號。修漏進度追蹤系統內即產生報修日期時間、修漏登記地址，以及登記之修漏種類。自來水客服人員及櫃台人員也可以在接獲修漏通報時，將通報修漏資訊輸入系統內產生修漏編號及通報修漏日期時間，並告知用戶該編號，請用戶記下修漏編號。
- 2.修漏進度追蹤系統在系統內產生修漏編號時，自動派工傳送至修漏人員的可攜式裝置，顯示該筆通報修漏的相關資訊。承辦

之修漏人員使用可攜式裝置輸入確認訊息後，修漏進度追蹤系統即出現該修漏人員之姓名及手機號碼。通報修漏之用戶及民眾可使用修漏進度追蹤系統輸入修漏編號，或通報修漏地址關鍵字(如開元路)查詢該筆通報修漏的進度以及詳細修漏資訊。

- 3.修漏人員欲出發前往修漏地點時，即在可攜式裝置內輸入出發前往時間，該時間即自動上傳至修漏進度追蹤系統。修漏人員抵達修漏現場。開始進行修漏時，在可攜式裝置內輸入開始修漏時間，上傳至系統。修漏人員完成修漏作業後，在可攜式裝置內輸入完成修漏時間，傳送至系統，系統內的修漏狀態即產生「已完成」之訊息，系統並自動以簡訊或語音通知通報修漏用戶及民眾登記之電話或手機號碼內。
- 4.修漏過程中或修漏人員抵達修漏現場勘查後，修漏人員如發現修漏無法順利完成，或有其他狀況時，即在可攜式裝置內輸入該修漏狀態，例如無法維修等訊息，上傳至系統的修漏狀態上。

- 5.修漏進度追蹤系統自動以通報修漏用戶及民眾通報修漏時間推算應完成之時間，顯示在系統上「最晚月/日時：分完修」。若超過該時限，用戶可於系統內輸入「逾時申訴」之訊息，訊息即傳送至自來水公司，承辦人員再做進一步回覆及後續人工處理。
- 6.修漏案件成立後，如果通報修漏用戶及民眾欲取消修漏，可在系統內輸入取消的訊息，該訊息即傳送至修漏人員的可攜式裝置內，修漏人員可即時得知。通報修漏用戶及民眾亦可使用系統內的「問問題」功能，將所需傳達之訊息傳送至自來水公司。承辦單位承辦人員即透過系統回覆，並產生「問答紀錄」，供通報修漏用戶及民眾查詢。
- 7.若修漏完成後，用戶發現該次通報修漏地點修漏未完成，可在系統內鍵入「再次報修」之功能，系統即再次發送訊息至修漏人員的可攜式裝置以及修漏單位，修漏人員即可再次前往修漏。

→ 修漏進度查詢

輸入修漏編號/地址關鍵字 查詢

修漏編號	報修日期 時間	修漏狀態	修漏時限說明	取消報修	聯絡客服
(一組唯一的編號)	(108/4/26 時：分)	報修漏成立 (修類狀態，例如 已完成等)	3日內	取消	問問題 問答紀錄
(接到報修 時間 時：分)	→ (前往時間 時：分)	(開始修漏 時間 時：分)	→ (已完成修漏 時間 時：分)	→ (最晚月/日 時：分完修)	逾時申訴
(修漏登記地址) (修漏種類，例如止水專失靈等)		(修漏人員) (修漏人員手機 號碼)	再次報修		

圖 2 修漏進度追蹤系統

8.修漏案件完成後，當用戶及民眾透過系統查詢修漏狀態時，系統即產生評分之訊息如下圖 3，供查詢之用戶為該修漏案件服務評分，並將評分訊息轉化為數據資料傳送至系統內，供自來水公司了解通報修漏用戶所感受到的修漏服務品質。

您的肯定是我們最大的動力

如果您滿意 請為我們點亮 5 顆小星星

修漏效率 ☆ ☆ ☆ ☆ ☆

修漏態度 ☆ ☆ ☆ ☆ ☆

修漏服務評分，滿意請打 5 分

圖 3 修漏評分訊息

四、結語

自來水公司的修漏服務為一項重要的業務，而修漏業務的流程起始於通報修漏用戶及民眾發現有自來水供水設備的漏水情形，通報自來水公司。修漏工作流程中的用戶及民眾為接受修漏服務這項產出的接受者。

以 Parasuraman et al. (1988) 的 SERVQUAL 量表分析自來水公司的修漏服務：有形性構面為修漏人員的儀表及修漏人員的配備，可靠性構面為通報修漏用戶及民眾接受修漏服務時所得到的服務；反應性構面為修漏服務人員即時修漏所表現出來的意願和敏捷度；保證性構面為修漏服務人員對用戶的提問所表現出的知識及禮貌，提供專業的服務，並能獲得通報修漏之用戶及民眾的信賴；同理心構面為修漏人員給予通報修漏用戶的關心，與用戶良好溝通，了解用

戶的需求。此五構面組成了自來水公司修漏服務的服務品質。

自來水公司是台灣重要的基礎建設服務業，必須提供台灣的自來水用戶及民眾優良的修漏服務品質。藉由本文提出的修漏進度追蹤系統，將修漏自始至終的工作流程即時公開透明化。通報修漏之用戶及民眾比較對修漏服務的預期及實際感受到修漏服務的知覺，產生出具體的修漏服務品質。依據 Mak et al. (1999)的觀點，自來水公司可藉由建置即時修漏進度追蹤系統，快速回應通報修漏之用戶及民眾，增進時效，有效地與用戶及民眾溝通，提升修漏業務服務品質。

參考文獻

- 1.Riddle, Dorothy I. (1986), *Service-Led Growth*, New York: Praeger.
- 2.Regan, W. J. (1963). *The Service Revolution*, *Journal of Marketing*, 47, 57-62.
- 3.Gronroos, C. (1984), *A Service Quality Model and Its Marketing Implication*, *European Journal of Marketing*, 18(4), 36-44.
- 4.Parasuraman, A., Valarie A. Zeithmal, and Leonard L. Berry. (1988), *SERVQUAL: A Multiple-item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality*, *Journal of Retailing*, 64, 38-40.
- 5.Hammer, M. and Champy, J. (1993), *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*, New York: Haper Collings.
- 6.Davenport, T. H.and Short, J. E. (1990), *The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign*, *Sloan Management Review*, Summer, 11-27.
- 7.Bae, J. S., Jeong, S. C., Seo, Y., Kim, Y. and Kang,

S. H. (1999), Integration of Workflow Management and Simulation, Computers and Industrial Engineering, 37, (1-2), 203-206.

8.Mak, H. Y., Mallard, A. P. and Bui, T. (1999), Building Online Crisis Management Support Using Workflow Systems, Decision Support Systems, 25(3), 209-224.

作者簡介

黃郁婷小姐

現職：台灣自來水公司第六區管理處會計室營運士

專長：代理問題、股利政策

中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

中華民國 105 年 8 月 26 日第十八屆第八次理監事聯席會議審議通過

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」會刊論文中分「工程技術」、「營運管理」、「水質及其他」等類別，分別評定給獎論文，每類別以 2 篇為原則，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壹萬元整，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」、「實務研究」及「一般論述」論文，由編譯出版委員會於每年六月底前，每類別推薦 3-4 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：

1.評獎委員以無記名投票，每類別論文勾選至多 2 篇推薦文章，每篇以 1 分計算，取累計分數較高之論文，至多 2 篇，為該類給獎論文。

2.同一類別如有多篇文章同分無法選取時，以同分中專家審查總分數高低排序，分數再相同，則由評獎委員以無記名投票方式決定。

(三)選出給獎論文，報經本會理監事會議通過後公佈。

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。

自來水工程工期法律爭議之探討

文/謝彥安、吳昌銘

一、前言

通常自來水事業業主與工程廠商簽訂工程契約，約定由廠商完成一定之自來水工程，業主考量因素為：工程標的物興建位置、規模、工期、預算等因素，以滿足完工後之使用需求及支出成本；相對地，工程廠商須考量工地位置、施作工項、工期、報酬等，以尋求在花費最少資源下創造最大的商業利益。

其中「工期」一項，對自來水事業業主攸關興建成果利用時效及工作績效之評比、對工程廠商則能評估需投資之工程成本及有效調配人力機具，故雙方多會希望於工程契約中對工期有所約定限制。是以在自來水工程中，工期約定亦事關重要，業主與廠商間除了會就工期本身有所約定外，更會約定「違反工期」之法律效果，然又為求權責相符，亦會特別約定得以例外「展延工期」之情況。

在統計上，展延工期向來是營建工程實務上常見之爭議，行政院公共工程委會(以下簡稱工程會)於民國(以下同)92年出版之「政府採購爭議處理事件案源及問題類型分析」，針對研究之 865 件政府採購爭議案件，發現與工期相關之爭議所佔比例最高，為 226 件(26.13%)。近期工程會統計 103 年採購爭議之 544 件調解件，其中工期相關之爭議亦佔 137 件(25.18%)。故而面對工期爭議應

如何處理，殊值得我輩關注，更屬自來水從業人員不可忽視之重要課題。

為解決上開工期爭議問題，應探究我國重要法律規定、法院實務看法。本文擬以臺灣高等法院 105 年度上字第 881 號判決(下簡稱本案)為例，透過介紹該案例出發，分析相關重要法律規定、法院判斷之要點，並給予案件評析供參，希冀自來水從業人員在遭遇類似案例能以此借鏡，確保自身之權益。

二、本案事實與兩造主張

A 廠商於民國 100 年 9 月 15 日與台灣自來水股份有限公司第 O 區管理處(下簡稱 B 業主)簽訂工程契約(下簡稱系爭契約)，承攬其「OO 所 OO 加壓站變頻器新裝工程」(下稱系爭工程)。依工程進度表之約定，A 廠商應於 B 業主通知日翌日起 5 日內開工，並於開工之日起 90 日曆天內完工；嗣後，B 業主於 100 年 11 月 25 日函知 A 廠商開工，A 廠商於 100 年 11 月 27 日收文並於 100 年 12 月 2 日開工，契約工期 90 日曆天，然 101 年 2 月 22 日至 101 年 7 月 23 日止雙方約定停工，不計入工期；最終，系爭工程於 102 年 3 月 1 日竣工，102 年 4 月 30 日驗收完畢，結算工程費為 627 萬 4261 元，A 廠商於 102 年 5 月 10 日申報完工。

事實上，B 業主主張部分費用應予扣除，故僅支付部分費用給 A 廠商，是以 A 廠商與 B 業主就系爭契約之履約內容多有爭

執，就相關費用數額雙方僵持不下，爭執部分包括 B 業主因用電過量遭電力公司之超約罰款是否為 A 廠商應負擔、A 廠商重新施作毀損設備之費用是否應由 B 業主負擔、A 廠商是否有違反工期以及可否展延工期而將相關期間不計入工期等，其中就 A 廠商是否有違反工期或是合法展延不計入工期之爭執，雙方主張如下：

A 廠商主張，就系爭工程並無違反工期情事，B 業主自行扣除違反工期違約金罰款並不合理，應全數支付。

B 業主則主張，A 廠商就系爭工程總計逾期 196 天，且工程會函復之鑑定資料內容，亦認為被上訴人不得以空污費等延遲繳納為由，請求展延工期。則伊依系爭契約對 A 廠商處以 122 萬 9755 元之逾期罰款，並無違誤。

三、工期的概念

所謂工期是指廠商及業主雙方訂立工程契約中對施工期間之約定與限制。常見工期之約定方式，包含：廠商須於特定日期前完工、於開工後一定工作天或日曆天完工、比照甲方與業主之工程進度、於工程進行中分階段設有里程碑(milestone)等方式，俾便業主管控廠商之施工進度。如按工程會訂定之採購契約要項第 43 點之規定：「履約期限之訂定，得為下列方式之一，由機關載明於契約(一)自決標日、簽約日或機關通知日之次日起一定期間內完成契約規定之事項。(二)於預先訂明之期限前完成契約規定之事項。(三)自廠商收到機關之信用狀、預付款或其他類似情形之次日起一定期間內完成

契約規定之事項。(四)就履約各重要階段或分批供應之部分分別訂明其期限。(五)其他約定之方式。」應與特別說明者，一般來說，日曆天是指工程自規定之開工日起按曆演算連續計算應完工之日數而言；而工作天則指工地能實際工作之日，惟因早期二者定義混淆不清，為求清楚止紛，宜於契約中清楚定義日曆天與工作天之內涵。

另契約也常約定廠商於開工前，需提交工程預定進度表，說明工作內容之順序及關聯、完成各項工程次序等，以作為業主管控廠商施工進度之依據。如臺北市政府工程契約訂約後工期核算要點第 3 條：「廠商於簽訂工程契約後，應依契約約定之期限內提送工程施工預定進度表、施工預定進度網狀圖或桿狀圖，並含曲線圖及工期計算表，經機關核定後作為進度管控及工期核算之依據，並依本要點核算相關作業期限。」，可供參考。

然雙方除了會就工期本身有所約定外，有時更會約定「違反工期」之法律效果，最常見是違約金罰款、債務不履行或瑕疵之損害賠償責任、作為解除或終止契約事由；然為求契約公平性與權責相符等考量，多半會再特別約定得以例外「展延工期」並不處以違約金罰款、損害賠償或做為契約解除或終止事由之情況。

四、實務上常見認定是否可展延工期、或不計入工期之因素

承上所言，工程契約一旦對工期有所約定，不論是採用何種約定方式，如廠商未能符合時，即屬違約或遲延。此時，業主方即

可依契約或民法規定而對廠商請求逾期違約金、損害賠償、解除或終止契約，但此舉往往會造成廠商莫大之損失。也因此得否合法「展延工期」對廠商至關重要，倘若廠商能合法展延工期(包括部分期間不計入工期之方式)，將合理工期延長，即可克服工期遲延狀態，而免除相關處罰或賠償，因此在何種情況下可請求展延工期，保留廠商應取得之工程利潤，即屬廠商方不可忽視之重要課題。

本文分析我國法令及法院實務，歸納出幾項廠商可否請求展延工期應衡量之要素，分別為：契約有無約定、可歸責性、是否為要徑。茲分述如下：

(一)契約有無約定

「契約」為當事人就簽約目的、利弊得失、商業機會等因素考量下，所表現雙方協商約定結果之產物，契約內容在效力上，只要訂約時雙方是出於表意之自由(沒有受到詐欺、脅迫、通謀虛偽等)，契約約定內容無違反法律強制或禁止規定、不違背公共秩序或善良風俗，即有拘束雙方當事人之優先效力，不容事後否認推翻，以維雙方簽約之互信及作為社會經濟制度運作之準繩。

工程契約中就有關工期延誤後，廠商可否請求展延工期一事，雙方亦可於契約中自行約定，以供遵循。以公共工程為例，列出機關經常作為擬定參考之內容：

(1)工程採購契約範本第 7 條第 5 款：「契約履約期間，有下列情形之一，致影響進度網圖要徑作業之進行，而需展延工期者，廠商應於事故發生或消滅後 0 日內通知機關，並於 0 日內檢具事證，以書面向機

關申請展延工期。機關得審酌其情形後，以書面同意延長履約期限，不計算逾期違約金…」

(2)工程採購契約範本第 17 條第 5 款：「因下列天災或事變等不可抗力或不可歸責於契約當事人之事由，致未能依時履約者，廠商得依第 7 條第 3 款規定，申請延長履約期限；不能履約者，得免除契約責任…」

(3)採購契約要項第 46 條：「廠商履約有下列情形之一者，得檢具事證，以書面通知機關。機關得審酌其情形後，延長履約期限，不計逾期違約金…」

(4)臺北市政府工程契約訂約後工期核算要點第 4 條第 1 項：「受下列原因影響，致全部工程或要徑作業不能進行者，經機關核定之期間(得不計日曆天) …」

然關於在何種情形下構成展延工期之延誤事由，雙方可進一步擬定，一方面使廠商可明確掌握可申請展延之情形，他方面業主亦能便於審核認定，例如可約定，發生下列之情況時，廠商可請求展延工期：

(1)發生不可抗力或不可歸責契約當事人之事故。

(2)因天候影響無法施工。

(3)業主要求全部或部分停工。

(4)因辦理變更設計或增加工程數量或項目。

(5)業主應辦事項未及時辦妥。

(6)由業主自辦或業主之其他廠商之延誤而影響履約進度者。

(7)業主提供之資料與實際情形有重大差異。

(8)因傳染病或政府之行為，致發生不可預見之人員或貨物之短缺。

(9)因業主使用或佔用本工程任何部分。

- (10)發生戰爭暴亂。
- (11)發生居民抗爭。
- (12)法規或政策產生變更。
- (13)其他非可歸責於廠商之情形，經業主認定者。

而為求避免逐一例示恐有掛一漏萬之情況，建議於約定事項增列最後一項概括事由，如上開其他非可歸責於廠商之情形，較為保障與完整。在契約有明文展延工期之條件下，如廠商之延誤事由已符合契約約定情形，廠商即可檢具相關事證單據，向業主請求展延工期。且縱然業主不願同意，廠商亦可向法院起訴，主張不應由己負責，由法院就事實證據妥為公平之判決。

(二)是否可歸責於廠商

延誤工期之事由通常不一而足，端視工程特性或個案情況而定或有發生概率之差異，惟仍有不少通常情況下易於發生之造成延誤工期事由，如：因業主未提供用地、業主指示停工、天候(如颱風、地震)、業主變更設計、工地異常狀況、設計圖遲延提供或錯誤提供等。則該等事由是否均應由廠商負責？即關係廠商可否主張展延工期之問題。

在國際通用契約條款及我國法律實務上，延誤工期之事由概可依行為人是否須對結果負責(即可歸責性)，分為「不可歸責廠商之延誤」(Excusable Delay)、「可歸責廠商之延誤」(Non-excusable Delay)的二種延誤事由，而異其法律效果：

1.不可歸責廠商之延誤：

不可歸責廠商之延誤可再分成「可歸責於業主」及「不可歸責於雙方當事人」之情況。前者如：業主無法提供用地、變更設計、

遲延提供設計圖、交付錯誤設計圖說、業主審查或檢驗拖延、業主之其他下包商介面問題、業主指示停工等業主單方面之因素；後者如：天災、工地異常狀況、戰爭、政策或法令變更、居民抗爭、政府政策變更等雙方均無法預料之情況。

依民法第 230 條：「因不可歸責於債務人之事由，致未為給付者，債務人不負遲延責任。」及臺灣高等法院 88 年度重上字第 4 號判決指出：「…一般工程施工之遲延原因，可歸納為(1)不可歸責於雙方之遲延，例如選舉、颱風、地震、政令變更。(2)可歸責於業主之遲延，例如變更設計、審圖遲延。…除合約對工期之展延有規定外，只要是不可歸責於廠商之事由，皆可合理展延工期…。」及最高法院 97 年度台上字第 140 號判決同樣說明：「苟…被上訴人(業主)拆除上述部分木作與土水工程，又影響上訴人(廠商)後續工程之施作致延誤完工期限，顯非可歸責於上訴人之事由所致，則能否仍得依系爭契約所定完工期限遽認上訴人應負遲延責任？即非無疑。」可知我國法令及法院實務上，一旦工程遲延之事由非可歸責於廠商，廠商係不付遲延責任，即有權展延工期，以免除逾期違約金之處罰。

在實務上，縱使有發生非可歸責於廠商之事由，廠商欲主張展延工期，法院常會要求廠商需證明「因果關係」，亦即發生工期延誤之結果確實為該事由之發生所致，如無該事由即不會有遲延情況之發生，才有可能允許廠商展延。如臺灣高等法院 90 年度上更(一)字第 171 號判決：「系爭工程雖砂石需求量所占比重甚大，但自 81 年 4 月 22 日後

迄至同年 5 月 13 日止，長達 20 多天，上訴人(廠商)均未有出工施作之事實，是否確因『砂石風波』不可歸責於上訴人之事由，致無混凝土可供施築，而影響系爭工程施工，未據上訴人舉證以實其說，且依監工日報表所載明以觀，亦無從認定確有影響上訴人之施工，自不得徒憑上訴人之空言，遽以採信。」，即法院認為雖然有發生政策法令因素之「砂石風波」，但廠商請求過多之展延天數，卻無法證明與因砂石政策影響之明確「因果關係」，即不能全部准許。

至於「可歸責於業主」及「不可歸責於雙方當事人」之差異，係在若為「可歸責於業主」之情況，廠商除能請求展延工期外，有時尚可進而請求業主給予適當之費用補償，例如於國際慣例中有所謂的阻擾事件(disruption)，是指廠商因業主中斷、干擾、阻礙，導致不能順暢施工時，若於影響要徑工作又可歸責業主時，可以向業主進行索賠。

2. 可歸責廠商之延誤：

可歸責廠商之延誤又可分成「單純可歸責於廠商之延誤」及「共同歸責」之情形。前者如廠商本身之故意或過失(如廠商施工能力不足、管理不善、承商財務困難等)或關連下包商之故意或過失(如供料商未即時供料)；後者為同時可歸責於廠商及業主之情形，如廠商欠缺開挖路面機具，但業主亦無法如期提供施工場地，二者共同導致無法施工。

相對於上述不可歸責於廠商之情況，如為「單純可歸責於廠商之延誤」，廠商通常不得請求工期展延，反而須對業主負逾期罰

款及損害賠償責任，甚而業主於特定條件下得解除或終止契約，由廠商負擔責任。

有關「共同歸責」之情況，因為屬於雙方當事人對遲延結果之發生均應負一部分之責任，因此實務上有發展出：○1 由影響較大之一方負擔責任、○2 決定過失比例等分配方式，以決定廠商可請求展延工期之比率，以尋求雙方負擔之公平。

(三) 受影響之工程是否為要徑

所謂要徑(Critical Path)是指工程開始到完成的最長工期作業路徑，其作業浮時等於零，在此路線上之工作，無論哪一個工作遲延，都會影響到整個工期。目前工程契約多規定廠商應於開工前提送預定計畫進度表，於施工中則應按月依施工狀況提送修正計畫進度表，以供業主判斷施作工項是否屬於要徑作業，進而管控整體契約工期之長短。

法院實務上，有認廠商是否可展延工期，應判斷遲延事由之工項是否影響要徑，以核算展延天數者，稱為「要徑法(Critical Path Method)」。如最高法院 95 年度台上字第 1104 號判決有明示：「系爭工程之變更設計，須屬要徑工程之變更始得增加工期…其餘工程因非屬要徑工程之變更，且部分係同時施作，則不能增加工期。」、最高法院 103 年度台上字第 272 號判決亦認為：「原審認定被上訴人(廠商)自 92 年 6 月 5 日起至同年 7 月 11 日止，共 37 天消防設備圖審查，應准展延工期。但依被上訴人工作日報之記載，其於 92 年 5 月 5 日…均有重要工作之施作。倘若非虛，消防設備圖之審查，於上開時間是否影響被上訴人就要徑工程之施作，即非

無疑。」，法院就變更設計、設備圖說審查遲延等因素，確認是否影響廠商之要徑工作，以認定可否增加工期。

另外，延誤事由雖然不是直接影響要徑作業，但要徑外之作業工項可能在特殊情況下因延誤(即浮時消化)而轉變成要徑作業，則整體工期亦可能會受影響，亦應適度給予廠商展延工期，如臺灣高等法院 95 年度建上字第 120 號判決：「上訴人(廠商)又主張監造人於第三次工期檢討中，就系爭麥帥公路拓寬路段南側 0k+550~0K+700 間，開挖下層發現有垃圾等廢棄物及污泥，以非要徑工作為由，不給工期，但…上訴人因此障礙因素，等待開會之等待時間，可能會增加工期，而因不可預見之事項增加非原有預定之工程項目、工程數量雖預定進度網狀圖不在之要徑上，但增加工程數量會增加該項之工期，亦有可能改變主要徑之路徑，故給予增加工期應屬合理。」，足資參照。

(四)小結

綜上所述，有關廠商可否請求展延工期之問題，分析我國法令及法院實務的結果，原則上應以契約約定為優先觀察，契約有約定展延工期之條件時，雙方應予遵守。其次，延誤之發生事由若為不可歸責於廠商之因素，且延誤事由與工期延誤有因果關係，廠商應可主張展延工期。末者，實務上有以延誤需影響施工要徑為審查標準，如遲延之工項非屬要徑工作，廠商恐無法主張展延工期。

五、本案法院判決要點

B 業主於 100 年 11 月 25 日函知 A 廠商

開工，A 廠商於 100 年 11 月 27 日收文並於 100 年 12 月 2 日開工，契約工期 90 日曆天，最終，系爭工程於 102 年 3 月 1 日竣工，102 年 4 月 30 日驗收完畢，A 廠商於 102 年 5 月 10 日申報完工。其中，本案兩造就是否有違反工期處以違約金部分有所爭執，法院認定如下：

(一)違約金計算依據

- 1.按系爭契約第 17 條就遲延履約違約金之約定為：「以日為單位計算逾期日數，自逾期之日起連續累計，無工作天、日曆天、假日或兩天之分別。(一)乙方如未依照契約所定履約期限竣工，自該期限之次日起算逾期日數，每日依契約價金總額千分之 1，計算逾期違約金。…」
- 2.系爭契約第 7 條第 1 項第 1 款第 2 目另規定於履約期間內，有確非可歸責於被上訴人之事由，得不計工期之特定情形；另就非可歸責於被上訴人，致影響進度網狀圖要徑作業之進行，而需展延工期之情形，亦於該契約第 7 條第 2 項第 1 款設有明文。
- 3.依法院函請工程會鑑定之意見，就工期之計算而言，應不計工期或延展工期之情形，尚無不同。
- 4.結論：系爭工程如有應不計工期或應展延工期之情事者，其日數均不應計入被上訴人之施工期間，憑以核算遲延罰款。

(二)雙方爭執之 100 年 12 月 2 日至 101 年 2 月 21 日期間，不計入工期：

- 1.法院根據雙方所傳證人證言、文書內容等，認定確實於未開工前 B 業主方有告知施工現場變壓器設備容量不敷增設設備使用，為求免於超量電費罰款，要求 A 廠商

變更設計，雙方更經多次協調。

2. 鑑定意見認為系爭工程自 100 年 12 月 2 日至 101 年 2 月 21 日，係因 B 業主要求變更設計，並經多次協商，最後雙方因議價落差過大而協議不成，B 業主始回復要求依原設計施工，於協議期間而不能施作之日數，屬契約第 7 條第 1 項第 1 款第 2 目(6)所稱其他非可歸責於 A 廠商之情形，A 廠商得請求不計工期。

3. 結論：100 年 12 月 2 日至 101 年 2 月 21 日期間停工係因 B 業主要求變更設計，不可歸責於 A 廠商，不應計入工期。

(三) 雙方有合意於 101 年 2 月 22 日至 101 年 7 月 22 日停工，該期間因雙方合意停工，故不計入工期。

(四) 雙方爭執之 101 年 7 月 23 日至 101 年 10 月 24 日期間，應計入工期：

1. B 廠商主張 101 年 7 月 23 日至 101 年 10 月 24 日期間，因系爭工程並未依空氣污染防制法第 16 條及空氣污染防制費收費辦法第 5 條及第 6 條規定繳費及取得空污防制審核之繳款書等文件，無法開工，不應計入工期。

2. 然法院認為依據系爭契約第 5 條第 4 項約定：「契約價金…依法令應以甲方名義申請之許可或執照，由乙方備具文件代為申請者，其需繳納之規費（含空氣污染防制費）不含於契約價金，由乙方代為繳納後甲方竅實支付，但已明列項目而含於契約價金者，不在此限。」系爭契約本已預計空氣污染防制費得由 A 廠商代繳後，再由 B 業主支付。A 廠商有依承攬契約完成工作之義務，而空氣污染防制費之代繳，屬義務

內容之一部分，B 廠商並無任何無法代繳之情事，不能僅以其無代繳義務而解免其依期限完成工作之責任。

3. 鑑定意見亦認為在工程實務上，空污費是由乙方填寫申報表及相關資料後，陳報甲方用印及給予授權書，再由乙方至工程所在地之環保主管機關臨櫃辦理核算空污費，此費用由甲方支付。且依據系爭工程所在地之環保主管機關所制訂「桃園市政府環境保護局營建工程空氣污染防制費【開工申報應具備之資料】」第 9 點，亦有已先行動工或已完工再申報開工之補辦程序，顯示空污費允許事後補繳，故空污費之繳納與否，並不影響工程之進行及工期計算，如未即時向地方環保主管機關提出空污費之繳納申請，其延遲責任在 A 廠商。

4. 結論：100 年 12 月 2 日至 101 年 2 月 21 日期間停工與空氣污染防制費是否繳納無關，可歸責於 A 廠商，仍應計入工期。

(五) 雙方爭執之 101 年 10 月 25 日至 102 年 3 月 1 日期間，除 101 年 11 月 1 日至 101 年 11 月 12 日期間外，均應計入工期：

1. A 廠商主張於 101 年 11 月 1 日至 101 年 11 月 12 日共 12 日為管線施工路單及停水公告等待期間、101 年 11 月 24 日至 101 年 12 月 5 日之間有 12 日為等候上訴人檢驗配電盤成品期間、自 101 年 12 月 28 日起至 102 年 1 月 7 日止共 11 日為協調系爭工程整體試車運轉期間，合計 35 日，依系爭契約第 7 條第 1 項第 1 款第 2. (4) 目「甲方應辦事項未及時辦妥，致全部工程無法施工」、2. (6) 目「其他非可歸責於乙方之情形」之約定，均應不計工期。

2.然法院認定：

(1)依據鑑定意見，101 年 11 月 1 日至 101 年 11 月 12 日共 12 日部分，A 廠商之「施工日誌」記載「備料中」，依工程實務判斷，雖非要徑，但 B 業主於 101 年 11 月 2 日申請道路挖掘延期之原因為避免連續停水造成用戶不便等因素辦理展延，該原因並非 A 廠商之因素，故該 12 日得不計工期。

(2)依據鑑定意見，101 年 11 月 24 日起至 101 年 12 月 5 日止共 12 日期間，由於「施工日誌」記載於 11 月 24 日至 11 月 30 日為「備料中」，僅於 12 月 1 日至 12 月 5 日共 5 日期間記載「配電盤待驗中」，且 A 廠商所提趕工計畫「配電盤檢驗」項目並不在主要徑上，且已於 10 月 4 日即執行過配電盤中間檢查，且經 B 業主於 12 月 6 日函知 A 廠商配電盤成品檢驗不合格紀錄，可見應無契約第 7 條第 1 項第 1 款第 2 目(4)之「甲方應辦事項未及時辦妥」而延遲事項，故該段期間仍應計工期。

(3)依據鑑定意見，101 年 12 月 28 日起至 102 年 1 月 7 日止共計 11 日部分，由於「施工日誌」記載 A 廠商執行「PLC 軟體整合設計修改及試車調整」及「備料中」，可見亦無契約第 7 條第 1 項第 1 款第 2 目(4)之「甲方應辦事項未及時辦妥」而延遲事項，故應計入工期。

(4)由於上開鑑定並無不妥之處，故足以採信。

3.結論：101 年 10 月 25 日至 102 年 3 月 1 日期間，除 101 年 11 月 1 日至 101 年 11 月 12 日期間外，均應計入工期。

六、本案評析

自來水工程案件中，究竟廠商可否主張不計入工期或展延工期，法院考量之因素不外乎三項，分別是契約有無約定、是否可歸責於廠商、受影響之工程是否屬要徑作業。

本案除了 101 年 2 月 22 日至 101 年 7 月 22 日期間雙方不與爭執，均認定有合意停工不予計入工期外，其餘如 100 年 12 月 2 日至 101 年 2 月 21 日期間、101 年 7 月 23 日至 101 年 10 月 24 日期間、101 年 10 月 25 日至 102 年 3 月 1 日期間法院大致也以這三項因素認定廠商可否主張將爭議期間不計入工期。

惟本案中雙方契約雖有約定相關得以展延工期之情況，除少數情況有審酌是否為「甲方應辦事項未及時辦妥，致全部工程無法施工」，然多數情況仍是使用約定之概括條款，即「其他非可歸責於乙方之情形」，是以從此可知由於自來水工程實務上現場發生事況不一而足，雖相關契約中已盡量將常見之爭議情況詳細列入，仍無法設想到全部情況，是以建議應增列一項概括事由，較為保障與完整。

次之，雖然本案多適用「契約約定」，然而由於適用之條項款目多半為「其他非可歸責於乙方之情形」之概括條款，是以認定上仍然要回歸第二項因素，即停工是否可歸責於 A 廠商，其中 100 年 12 月 2 日至 101 年 2 月 21 日期間因停工原因是 B 業主基於自身考量片面要求變更設計導致，故應不可歸責於 A 廠商，不計入工期、101 年 11 月 1 日至 101 年 11 月 12 日則是因 B 業主考量避免連續停水要求 A 廠商停工，故亦不可歸責 A 廠商；其餘爭執期間則認為應可歸責 A 廠

商，故相關期間雖有停工仍應計入工期，若因此超出契約工期部分仍應計算違約金。

再者，是否為要徑作業本案法院雖亦有納入考量，但顯然並不嚴格適用，僅作為「參考依據」，如本案中法院認為 101 年 11 月 1 日至 101 年 11 月 12 日共 12 日部分非要徑部分，卻仍同意不計入工期；相對的，101 年 11 月 24 日起至 101 年 12 月 5 日止共 12 日期間，卻以並不在主要徑上認定應計入工期，二個期間同為非要徑作業卻有完全不同認定，足見是否為要徑作業僅有參考性而非決定性因素。

七、結論與建議

自來水工程中有關工期之爭議，就我國法律與法院實務而言，會審酌契約有無約定、是否可歸責於廠商、受影響之工程是否屬要徑作業等因素，雖契約是否有約定相當重要，然因契約僅能就常見情況預為約定，多數實務爭議仍會適用概括條款，也因此概括條款應列入契約約定中，此外判定之重點多會落在第二層次之「可否歸責於廠商」，至於實務上對於「是否為要徑作業」之因素考量則偏向參考性質，而非絕對之決定性因素。至於相關鑑定報告之評論意見亦事關重要，不可忽視。

最後，履約中如產生工期爭議，雙方可適時發文詢問或表達立場，甚至招開工務會議或協調會，具體協商以達成和解共識，惟應注意任何的發言文字，皆具備一定之法律效果，將來可能做為呈堂上之不利證據，應予注意！

作者簡介

謝彥安先生

現職：謝彥安律師事務所律師、國立台灣大學兼任講師

專長：工程法律、勞資法律、智慧財產權

吳昌銘先生

現職：謝彥安律師事務所律師

專長：工程法律、勞資法律、智慧財產權