

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

醫療污水處理廠放流水之人工濕地三級處理效能研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-041-017-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)

計畫主持人：荊樹人

共同主持人：張翊峰

計畫參與人員：許原哲

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告
 期中進度報告

醫療污水處理廠放流水之人工濕地三級處理效能研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2211-E-041-017

執行期間：94年8月1日至95年7月31日

計畫主持人：荊樹人

共同主持人：張翊峰

計畫參與人員：許原哲

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：嘉南樂理科技大學 環境工程與科學系

中 華 民 國 95 年 7 月 31 日

中文摘要

由於國內對於應用人工溼地淨化醫療社區污水廠二級放流水淨化資料的闕如，因此本計畫擬於嘉義縣大林慈濟醫院園區設置人工溼地實驗系統，以有系統的方式處理該醫療園區污水廠之二級放流水，使污水廠所排放之二級放流水能夠進一步淨化，並增加放流水的再利用性與再利用的範圍。大林慈濟醫療園區除了醫療設施之外，尚有許多一般居住及教學的設施，因此醫療廢水僅佔污水量的一部份。根據慈濟大林醫院園區過去水質分析記錄，顯示該污水廠的處理效果良好，均符合「放流水標準」，但是硝酸鹽的卻始終很高，因而限制了再利用作為澆灌用水的目的。本計畫以人工溼地實驗實場作為三級處理設施，配置以自由表面流(free water surface system, FWS)人工溼地，以及表面下流動(subsurface flow system, SSF)人工溼地進行處理，並且在人工溼地系統之後設置一生態池，除了可增加景觀、生態等多樣性功能，並且還可用來持續觀察處理過後的水質。

研究結果顯示，本研究之人工濕地在污水進流量 100CMD 的操作下，總氮濃度可由進流為 37.1 ± 7.7 mg N/L，在 FWS 溼地出流時降低為 23.2 ± 7.2 mg N/L，在 SSF 溼地出流時進一步降低為 23.2 ± 7.2 mg N/L，去除效率約為 64%，總磷由進流的 5.5 ± 1.4 mg P/L，至 FWS 溼地出流時降低為 4.6 ± 1.2 mg P/L，SSF 溼地出流更進一步降低為 3.7 ± 1.3 mg P/L，去除效率為 33%。進一步比較本研究人工濕地其他操作試程的氮、磷去除速率(啟動期與穩定操作期 1)，本研究試程(100 CMD 高流量試程)的氮磷去除表現均比其他兩個試程優越，顯示濕地在穩定操作且良好的維護管理下，生態結構越趨健全，藉由植物所貢獻的碳源，可促進濕地脫銷作用的進行，並且在的採收管理下，可促使植物攝取水中的磷。另外，本研究人工濕地處理過後的淨化水，渴再利用於植栽的澆灌、景觀、道路沖洗等用途。

關鍵詞：人工溼地、三級處理、硝酸氮、總氮、總磷

Abstracts

The information of using constructed wetlands for polishing medical treatment discharge is scarce in Taiwan. This proposal plans to use the constructed wetland systems built in Tzu-Chi Dalin Hospital area to treat the discharge from its wastewater treatment plant systematically so as to improve the water quality for further reuse. The wastewater from Tzu-Chi Dalin Hospital area includes hospital and municipal wastewater. According to the water quality records of Tzu-Chi Dalin Hospital, the discharge of its wastewater treatment matches "Discharge Standards" of EPA. However, the nitrate concentration is remained high in the discharge, so that limited for reclaiming as irrigation purpose. In this plan, the constructed wetland system is used as a tertiary treatment system. A free water surface wetland (FWS) followed by a subsurface flow wetland (SSF) are planned to proceed the experiment. A scenic pond is built at the end of the wetland system for observing the water quality in a natural environment and also providing aesthetic and ecological functions.

As results, the study wetland treated the discharge from its wastewater treatment plant about

100CMD. Influent total nitrogen (TN) was 37.1 ± 7.7 mg N/L, and it composed of 97 % nitrate and 3% other nitrogen compounds (TKN, ammonia, and nitrite). So the study wetland treated main contamination was nitrate. A FWS wetland reduced TN from 37.1 ± 7.7 mg N/L to 23.2 ± 7.2 mg N/L and SSF wetland reduced to 23.2 ± 7.2 mg N/L. TN removal efficiency was about 64%. The nitrogen removal in the study constructed wetland was dependent on denitrification. Influent total phosphorus (TP) was 5.5 ± 1.4 mg P/L. A FWS wetland reduced TP from 5.5 ± 1.4 mg P/L to 4.6 ± 1.2 mg P/L, and a SSF reduced TP to 3.7 ± 1.3 mg P/L. TP removal efficiency was about 33 %. Compare with start up phase and stable operating phase 1, this study phase (flow rate was 100CMD) showed that high nitrate and TP removal rate than other phases. Because of the study wetland stably operated and maintain well, promoted to more integration ecological. Residues of plant can contribute carbon source promote denitrification, and growing plant can uptake phosphorus. Treated water in this study can use to plant irrigation, landscape, road wash.

Keywords: Constructed wetlands; tertiary treatment; nitrate; total nitrogen; total phosphorus

一、前言

近幾十年來，雖然許多國家均規範由都市、農工畜牧業所產生之廢污水於排放前，需進行二級處理，然而廢污水的二級處理仍無法完全將廢污水中的污染物去除，以二級處理的活性污泥法為例，處理過程中雖然可以大幅度的降低廢污水中的懸浮固體物、溶解性有機物，以及少部分的氮、磷等營養物質，這些富含氮、磷等營養物的二級處理放流水排放至自然水體之後，將會再一次對自然水體造成優養化、氮污染等環境問題。

再者，至目前全球就已經有 80 個國家與地區，約佔全球人口的 40%，面臨無水可用的窘境⁽¹⁾。反觀台灣地區由於人口快速成長、生活水準提升、加上都市化及產業結構的改變，導致總用水量逐年急速攀升，就供給面言，已面臨「缺水」的臨界點。台灣雖然屬於雨量豐沛的海島型國家，年平均降雨量約為 2,510 mm，換算總降水量約為 905 億 m^3 ，然而因為地狹人稠、降雨的時空分佈不均、天然水文地形條件不佳，加上全球氣候變遷的種種因素影響下，可供利用之天然水資源僅約 18%，每人每年所分配之雨水量僅及世界平均值的七分之一，屬於世界缺水地區之一⁽²⁾。由於台灣的用水需求量相當大，廢污水排放量也相當的可觀，在水資源短缺的窘境下，若能針對污水廠二級處理之放流水進行三級處理，除了可以進一步降低環境污染之外，還可增加放流水進行再利用的適用性。

因此在各標的用水需水量日益增加，新水源開發不易，且可直接引用之水源日益減少的情況下，廢污水的再利用成了值得探討的課題，然而若以現行之二級處理放流水欲進行再利用，仍有相當的困難，例如國內「水污染防治法」所規範之放流水標準中，事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施之放流水硝酸鹽氮濃度排放允許值為 50 mg N/L，在水源水質水量保護區內需達到 15 mg N/L，然而在「灌溉用水標準中」對於灌溉用水的總氮濃度規範為 2 mg N/L，為了使污水處理設施之二級放流水能夠達到再利用的目的，最有效的方法即進行二級處理放流水的三級處理，除了進一步的降低二級處理放流水中的有機物、懸浮固體物之外，更將其中的氮、磷、微生物等物質更進一步削減，以達到再利用的目的。

二、研究目的

有鑒於人工溼地系統操控參數的建立需長期持續的數據，因此本計畫提出利用現有之大林慈濟人工溼地系統，持續以實場操作方式，以有計畫的方式完整探討人工溼地系統應用於三級處理之淨化功能探討，進而降低接收水體承受污染物的負荷，並進一步評估淨化水體再利用的應用性，以建立三級處理人工溼地系統之操作與控制模式，以便未來設計應用時的參考依據。

三、文獻探討

縱覽文獻，經污水處理設施所排放之二級處理放流水，進行三級處理的主要目的大致可分類為：(1)進一步處理污水處理設施硝化之後放流水；(2)原污水處理設施欲符合更嚴苛的放流水標準，在不擴增規模的原則下，進行三級處理；(3)三級處理後之淨化水直接進行再利用。由於近年來許多國家均產生水資源的缺乏的危機，其中以淨化水進行再利用為目的三級處理日益盛行。由於國內的水資源日益缺乏，因此廢污水進行三級處理之後的主要目的，同樣仍較偏重於進行回收再利用，其中目前國內幾座污水廠進行三級處理的方法，不外乎以消毒(包含添加藥劑消毒、紫外線消毒等技術)、過濾(包含砂濾、薄膜過濾、微過濾等技術)，以及添加化學藥劑(化學沉澱等)為主，而這些三級處理過後的回收水主要用途大都使用於污水處理設施內圍區設施的清洗、花草的澆灌，以及市區道路清洗、行道樹的澆灌等。

除了過濾、消毒等程序之外，三級處理程序中另一種可行的技術為人工溼地技術(constructed wetland or treatment wetland)。人工溼地是將生態工程技術應用於水或廢水管理及處理上的一種自然淨化程序，具有可將污染物同化及異化轉換的能力，亦兼備物理、化學及生物處理功能，具有不需能源輸入、技術層次低、操作維護需求低，亦可以提供生態保育及自然景觀等優點。因此為一種省能源、低成本、無二次污染、操作維護簡單、不破壞生態的綠色環保技術⁽³⁻⁴⁾。但靠自然淨化速率較慢、土地面積需求較高，為溼地處理技術之缺點。

由於人工溼地具有維護操作簡單等優點，並且可以提供景觀、休憩、生態等多樣化功能，因此在國外已經相當多的三級處理實際應用案例。

以歐洲地區為例，由於歐洲有許多的小鄉村雖然本身具有小型的污水處理設施，然而往往因為人口增加、放流規範愈趨嚴苛，或是原污水處理效果不如預期等因素，考量以人口以及地區偏遠等問題，維護操作簡便、建設成本低廉的人工溼地系統成了最佳選擇。以為位於奧地利南部的小村莊—Strengberg村為例，該村已經建有可處理 1500 人生活污水的活性污泥處理系統，然而由於該村的污水量相當的少，因此需要增建一處理系統進行三級處理，以完全去除水中的營養鹽。Strengberg村於 1994 年建立一三級處理的人工溼地系統，並於 1995 年春季開始操作。Strengberg人工溼地系統主要由 4 座reed bed型溼地組成，溼地的水流方式均為垂直接流動式。經操作之後之結果發現，由於Strengberg人工溼地系統為三級處理系統，因此在進流的污染物濃度並不高，所表現的去除效率也不如預期，但對於營養鹽的去除具有相當察好的效果，其中Strengberg人工溼地系統具有相當大的硝化能力，甚至當水力負荷增加至 500 mm/d時，出流水的NH₄-N的濃度仍可低於 0.3 mg/L以下⁽⁵⁾。

反觀國內雖然近年來已經陸續建築了許多的人工溼地系統，應用於社區家庭污水⁽⁶⁻¹²⁾、校園廢污水⁽¹³⁻²²⁾、以及污染性河水的處理，然而以人工溼地應用於三級處理仍較少見。2003 年由嘉南藥理科技大學人工溼地團隊，於嘉義縣大林慈濟醫療園區設置三級處理之人工溼地實驗系統，希望能夠以生態淨水的方式將二級處理水再進一步淨化，以及實踐慈濟證嚴上人對於水資源儘量回收再利用的宣示。由於慈濟醫療園區勵行處理水回收再利用的原則，使得二級污水處理廠的放流水水質低於「放流水標準」，而且易於經過生態系統的淨化，增加再利用的價值

與項目。

四、實驗方法

慈濟大林醫院人工溼地系統

處理污水處理廠放流水之人工溼地系統總面積約為 640 平方公尺(圖 1)，其中

(1) FWS溼地：

FWS溼地面積為 450m²，溼地內層鋪設 0.15cm厚HDPE製不透水布，水深控制為 0.3-0.5m，邊坡則以卵石砌成。以抽水馬達抽取污水廠之二級放流水，並引流至FWS溼地中。FWS溼地內種植多年生挺水性水生植物(emergent macrophytes)，前端種植蘆葦，後端種植香蒲，中間設置一部分水較深的池子，使挺水植物無法生長，以提供魚類及其他水生動植物的生長，並提供景觀的效果。

(2) SSF溼地：

由FWS溼地處理過後的污水引流至SSF溼地內處理，SSF溼地面積為 186m²，此溼地內層鋪設 0.15cm厚HDPE製不透水布，底部再鋪設礫石，水深控制為 1m，邊坡則以卵石砌成。溼地內種植水生植物種類有：香蒲、蘆葦、培地毛及荸薺等。

(3) 生態景觀池

生態景觀池面積為 300m²，接收SSF溼地淨化後的污水，池內放置浮水性水生植物(Floating Aquatic Plants)以及具有觀賞價值的挺水性水生植物，池中飼養大肚魚與蓋斑鬥魚以控制病媒蚊的產生。

人工溼地系統之操作

大林慈濟人工溼地系統自 2003 年 8 月開始操作，啟動期污水平均進流量為 30 CMD，相當於水力負荷(hydraulic loading rate)為 0.047m/day，(以上計算不包含生態池)，並且於 2004 年系統進入穩定操作期之後，增加流量為 70 CMD，相當於水力停留時間為 0.11 m/day，之後再將流量調至 100 CMD，水力負荷為 0.16m/day。

採樣與分析

慈濟大林醫院人工溼地系統，於每個處理單元的階段起始或是系統中間適當位置採集水樣。採樣個數FWS溼地部分為3個，SSF溼地為3個，生態池部分1個。所採集的水樣需進行各項水質分析，分析項目相當廣泛，幾乎含蓋了廢污水水質檢測的主要項目，但是因人力條件之限制，檢測項目則選擇：BOD、COD、TSS、VSS、氨氮、NO₂-N、NO₃-N、總凱式氮、正磷酸鹽、總磷、pH、DO、水溫、氧化還原電位等。

五、結果與討論

1.人工溼地實驗結果

由二級處理過後之放流水，大都含有低濃度之有機物及懸浮固體，然而氮、磷等營養物質的濃度會較為偏高，如表 1 所示，本研究之人工溼地各項水質表現中，進流於人工溼地系統之進流水，亦即污水廠之二級放流水，BOD₅ 的濃度為 7±3 mg/L，COD 的濃度為 49±19 mg/L，不但符合二級放流水標準，並且濃度均非常低，TSS 與濁度的濃度也非常低，分別為 19±23 mg/L 與 14±22 NTU，反觀總氮(TN)與總磷(TP)的濃度，分別為 37.1±7.7 mg N/L 與 5.5±1.4 mg P/L，這些氮、磷等營養物質若排放至承受水體，仍有造成水體優養化的風險，因此有必要進一步的處理。另外，污水中的的氮物質，經過污水廠的曝氣程序之後，通常已經轉變為氧化態的硝酸氮，如本研究污水廠所排放之二級放流水，總氮的各項氮物質組成中，主要以硝酸氮為

主，約佔總氮的 97%，其他型態的氮，如總凱氏氮(TKN)、氨氮(NH₃-N)、亞硝酸氮(NO₂-N) 濃度均非常低，顯示本實驗人工溼地處理之二級放流水中，總氮部分主要以硝酸氮的處理為主。如表 1 所示，總氮在本研究之人工溼地中的濃度逐漸降低，濃度由系統進流之 37.1±7.7 mg N/L，至 FWS 溼地出流時，降低為 23.2±7.2 mg N/L，至系統出流(SSF 溼地出流)，總氮濃度更進一步降低為 13.4±7.5 mg N/L，整個溼地系統的總氮去除率約為 64%。在總氮的去除中，硝酸氮的濃度由系統進流的 35.91±6.68 mg N/L，出流濃度降低為 12.26±6.68 mg N/L，去除率約為 66%，其他型態的氮在本研究之人工溼地系統中，濃度並無明顯之變化，顯示硝酸氮在本研究之人工溼地系統的去除中，並無轉變成其他型態的氮化合物而存在溼地中。溼地系統去除硝酸氮的主要機制包括：微生物的異化脫硝作用、同化作用，以及植物的攝取⁽²³⁾，其中微生物的異化脫硝作用被認為是溼地系統去除硝酸氮的主要機制⁽²⁴⁾，而文獻中也報導，溼地去除硝酸氮的主要限制條件為：(1)缺氧(anoxic)的環境，以及(2)足夠的碳源。溼地的底泥(sediment)及附著在碎石或植物組織上的生物膜內部，可達成無氧的局部環境，是脫硝作用的主要場所，另外，溼地中的植物體組織可以直接留置於水體中貢獻碳源，以及植物體根部亦可釋放出碳源，因此雖然本研究之人工溼地系統的溶氧(DO)值均維持在 2-6 mg/L 左右，水體中維持有溶氧，且在無外加碳源的操作下，本實驗之人工溼地系統仍可獲得良好的脫硝效能。在本研究中，硝酸氮的污染負荷為 4.8 g N/m²/day，整個溼地的硝酸氮去除速率約為 3.19 g N/m²/day，均高於文獻之報導值(0.01-1.512 g N/m²/day)，主要原因為本研究之人工溼地的硝酸氮污染負荷相當高，在溼地本身可提供足夠碳源供脫硝作用的條件下，因此可獲得較高的硝酸氮去除速率。

總磷的進流濃度為 5.5±1.4 mg P/L，經 FWS 溼地處理過後，濃度降低為 4.6±1.2 mg P/L，經 SSF 溼地處理過後的系統放流，濃度降低為 3.7±1.3 mg P/L，去除率為 33%。溼地中去除磷的主要機制主要為仰賴溼地中底泥等介質的吸附，以及植物與微生物的攝取，由於本研究之人工溼地已經操作 1 年以上的時間，溼地中的介質對磷的吸附可能已達飽和，因此溼地中磷的去除可能為植物與綜合以上人工溼地系統進行污水三級處理的氮磷處理效能，再比較以與本研究之人工溼地系統由建設完成之啟動期、穩定操作期 1、2(star up phase, 操作時間為 2003 年 8 月至 11 月；stable phase1, 操作時間為 2004 年 4 月至 6 月；stable phase2, 操作時間為 2004 年 7 月至 12 月)的氮、磷去除速率，可以發現隨著人工溼地的操作時間越久，本研究之人工溼地系統去除氮、磷的去除速率也越來越高，如圖 2 所示，以硝酸氮為例，啟動期的硝酸氮去除速率表現均不如穩定期，其中 stable phase 2 的硝酸氮去除速率更高於 stable phase 1，顯示本研究之人工溼地在穩定的維護與操作下，硝酸氮的去除速率可提高至 3-4 g N/m²/day，此不同時期去除速率差異性的主要原因為啟動期間，溼地植物正快速生長，雖然對於營養鹽的需求量較大，但由於整個溼地的生態結構尚未完全，並且植物均處於生長期，較缺乏植物體殘渣進入水體中貢獻碳源，以供脫硝作用的進行，在本研究中，總磷的去除亦有類似的表現，雖然在啟動期期間，溼地中的介質雖然可吸附磷，並且植物生長時也需要攝取大量的磷，然而當溼地系統進入穩定期之後，經由適當的維護管理，在穩定期期間對於磷的去除速率仍可高於啟動期，並且在溼地生態結構逐漸完備之後，更可提高處理效能。

另外值得注意的是在穩定期期間，FWS1 採樣點的硝酸氮去除速率遠高於溼地中其他各採樣點，與文獻報導的結果頗為一致⁽²⁵⁾，主要原因為溼地入流段底泥中的脫硝菌受高濃度硝酸氮刺激，脫硝活性遠高於溼地中其他各點，使溼地入流段的硝酸氮去除表現比其他各點優越，反之，在溼地啟動適應期階段並無類似的情形發生，顯示溼地底泥中的脫硝菌同樣處於適應期。在總磷的去除表現也有 FWS1 採樣點高於其他採樣點的特性，然而總磷在 FWS1 的去除速率高

於其他各採樣的點的主要原因，為FWS1 採樣點附近為溼地中水深較深的地方，此位置有放置水芙蓉等浮水性植物，在經常性撈除水芙蓉的管理維護下，本區的水芙蓉可持續生長並攝取生長所需的磷，因此在FWS1 的總磷去除速率遠高於其他各採樣點。

2. 醫院園區生活污水回收再利用的應用性

(1) 農業灌溉用水

由於水體普遍遭受污染，而灌溉用水水源大部份又取自河溪，導致部份灌溉用水水質有惡化之虞。農政單位為了維護地力、農業水土資源永續利用及農產品質安全衛生，乃於民國 67 年訂定了「灌溉用水水質標準」，以做為灌溉用水水質管理的依據。並於全省 15 個農田水利會灌溉區域內，設置水質監測點，若發現有污染之虞，即由農田水利會向當地環境保護主管機關告發，函請依法管制、取締，以期改善水質。表 2 中列出了我國的「灌溉用水水質標準」與世界各國廢(污)水處理回收利用(包括利用於都市再利用、澆灌、農業灌溉等)水質標準的比較。表中顯示我國「灌溉用水水質標準」中所訂的總氮標準相當嚴格($<2\text{ mg/L}$)，反觀世界各國的廢(污)水處理回收利用水質標準均無訂出總氮或其他氮化合物的管制項目。另外，「灌溉用水水質標準」也訂出電導度須 $<750\text{ umho/cm}$ ，而多數國家也無此項目的限制標準。相反的，世界各國為了防止病原菌的傳染，均有訂出指標性微生物的限制，如總大腸菌、糞便大腸菌及線蟲蛋數等項目的限制，但是我國的「灌溉用水水質標準」卻無此項目限制。

雖然本計畫人工濕地在各階段操作中，總氮的去除效率高達 56~86%，且第三階段中對進流水導電度也具有降低的作用，但是濕地放流水的水質卻難以符合「灌溉用水水質標準」中的總氮及電導度的限制值。然而，SS 均可符合灌溉用水水質標準的要求。

世界各國的廢(污)水處理回收利用標準是基於考量回收利用廢(污)水所訂出(表 2)⁽²⁶⁾，而我國「灌溉用水水質標準」則是基於防制灌溉用水遭受污染為考量所訂出(表 3)，兩者的考量基準點不同。我國應可考慮另行訂出可應用於農業灌溉的廢(污)水處理回收利用標準，以促進水資源的回收再利用。

(2) 園區內澆灌

環保署為了防制土壤受廢污水排放的污染，乃於 92 年 7 月修訂「土壤處理標準」。其中第五條規定：事業或污水下水道系統，得利用廢污水施灌花木、抑制揚塵。但有以下限制：

(1) 對象別為：

- 經環境影響評估審核同意者
- 公共下水道
- 社區下水道及處理學校生活污水之專用下水道

(2) 廢污水應符合表 4-7 之水質標準，其中主要水質要求為： $\text{TN} < 15\text{ mg/L}$ ， $\text{TP} < 2\text{ mg/L}$ ， $\text{BOD}_5 < 30\text{ mg/L}$ ， $\text{SS} < 30\text{ mg/L}$ ， $\text{COD} < 100\text{ mg/L}$ ，大腸桿菌群 $< 200\text{ CFU/100 mL}$ 。

上述水質均較農政單位所公告的「灌溉用水標準」寬鬆許多。

(3) 需依規定申請「排放土壤許可證」

(4) 有排放總量的限制，每公頃土地每年施灌廢污水中所含總氮量 < 400 公斤。

(5) 應定期採樣分析土壤品質是否劣化，並應設監測井檢測地下水水質。

由本計畫人工濕地在各階段操作的水質淨化結果顯示，人工濕地出流水除了大腸桿菌群 ($< 200\text{ CFU/100mL}$) 外，其餘水質項目有能力達成表 3 所列的利用廢污水施灌花木、抑制揚塵適用之水質標準。

(3) 景觀、沖廁、消防、道路清洗

將生活污水處理至符合一定水質標準後，再利用於飲用水之外的供水，如廁所沖洗、林園澆灌、消防用水等循環再利用系統，即所謂的中水道系統。日本推行中水道系統已有 20 餘年，而中水應用的意義及作用包括：緩和供水不足、減輕污水工程負擔、促進區域水資源的有

效利用。

在日本並無訂定中水水質標準，但其原則為「中水水質應優於二級出流水或與出流水水質相同」。而我國於近年來亦積極推動中水道系統，並訂定「中水道二元供水系統建議水質標準」，提供興建中水道之機關有所依循(如表 4)。

由本計畫人工濕地在各階段操作的水質淨化結果顯示，人工濕地的系統放流點之BOD₅、大腸菌數、pH、濁度、臭氣、外觀等(色度還須確認)應可符合表 4 所列的水質要求，再利用於中水道系統。

六、結論與建議

1. 本研究之人工溼地各項水質表現中，除了氮、磷以外，進流於人工溼地系統之進流水，亦即污水廠之二級放流水，不但符合二級放流水標準，並且濃度均非常低，
2. 本研究污水廠所排放之二級放流水，總氮的各項氮物質組成中，主要以硝酸氮為主，約佔總氮的 97%，其他型態的氮，如總凱氏氮(TKN)、氨氮(NH₃-N)、亞硝酸氮(NO₂-N)濃度均非常低。
3. 總氮在本研究之人工溼地中的濃度逐漸降低，濃度由系統進流之 37.1±7.7 mg N/L，至 FWS 溼地出流時，降低為 23.2±7.2 mg N/L，至系統出流(SSF 溼地出流)，總氮濃度更進一步降低為 13.4±7.5 mg N/L，整個溼地系統的總氮去除率約為 64 %
4. 總磷的進流濃度為 5.5±1.4 mg P/L，經 FWS 溼地處理過後，濃度降低為 4.6±1.2 mg P/L，經 SSF 溼地處理過後的系統放流，濃度降低為 3.7±1.3 mg P/L，去除率為 33 %。
5. 本研究之人工溼地系統由建設完成之啟動期、穩定操作期 1、2 的氮、磷去除速率，可以發現隨著人工溼地的操作時間越久，本研究之人工溼地系統去除氮、磷的去除速率也越來越高。
6. 本計畫人工濕地總氮的去除效率高達 56~86%，但是濕地放流水的水質仍難以符合「灌溉用水水質標準」中的總氮的限制值。然而，SS 均可符合灌溉用水水質標準的要求。
7. 本計畫人工濕地的水質淨化結果顯示，人工濕地出流水除了大腸桿菌群(<200 CFU/100mL) 外，其餘水質項目有能力達成「土壤處理標準」所列的利用廢污水施灌花木、抑制揚塵適用之水質標準。
8. 本計畫人工濕地的系統放流點之BOD₅、大腸菌數、pH、濁度、臭氣、外觀等(色度還須確認)應可符合日本「中水道二元供水系統建議水質標準」所列的水質要求，再利用於中水道系統。

七、計畫成果自評

本研究計畫的執行，共達到以下成果：

1. 獲得國內關於「應用人工溼地淨化醫療社區污水廠二級放流水淨化」之相關參數資料，此部分資料在國內較為缺乏，並且相關應用案例較少。
2. 完成「污水廠放流水三級處理與再利用的生態技術」之開發與研究，目前本技術可立即應用於其他類似產業或相關單位。
3. 協助與訓練一進修部碩士班研究生於 95 年完成碩士論文並畢業，其題目為：以人工溼地處理醫院污水處理廠放流水之研究。
4. 相關數據統合後，於 2005 年環工年會之 30 屆廢水處理技術研討會，投稿一口頭發表之研討會論文，題目為：人工溼地作為污水三級處理氮磷之效能。
5. 目前慈濟大林醫院污水廠園區中部分植栽的澆灌，引用本研究之人工濕地所處理之淨化水，達到水資源再利用。

八、參考文獻

1. Gleick, P. H., 1993. Water Crisis: A guide to the world's freshwater treatment resources. Oxford University Press, Washington DC, USA.
2. 經濟部水利署網站，www.wra.gov.tw
3. Metcalf & Eddy, 1991, Chap 13 Natural treatment system. In Wastewater Engineering (Third Edition) . pp.927-1016. Mcgraw-Hill , Inc. New York.
4. Kadlec, R. H., and R. L. Knight. 1996. Treatment Wetlands. CRC Press, Boca Raton, FL.
5. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control. 2000. Constructed Wetlands for Pollution Control. Processes, Performance, Design and Operation. IWA Publishing, London, UK.
6. 吳堅瑜、林瑩峰、荊樹人、李得元、施俊宏、宋金樹、張天化，2002，二行社區人工溼地——全國首座社區污水自然淨化示範實場，第七屆水再生及再利用研討會，pp.214-223，台北。
7. 陳欽昭、荊樹人、林瑩峰、李得元、游程凱、樓仲軒，2003，氧化塘與人工溼地系統連接操作處理社區污水，第二十八屆廢水處理技術研討會，pp.1-131，台中，計畫編號：NSC 91-2211-E-041-003。
8. 吳堅瑜、荊樹人、林瑩峰、李得元、游程凱、宋金樹、張天化，2003，以實場人工溼地系統直接處理社區污水效能之研究，第二十八屆廢水處理技術研討會，pp.1-116，台中，計畫編號：NSC-90-2211-E-041-005。
9. 荊樹人、林瑩峰、李得元、施凱鐘、陳欽昭、張莉珣、劉志堅，2003，台南市灣裡人工溼地啟動期水質淨化效能與再利用評估，第八屆水再生及再利用研討會，pp.61-66，台中。
10. 游程凱、荊樹人、李得元、張翊峰、樓仲軒、張弘昌，2004，台南縣二行社區自然淨水系統處理社區污水營養鹽之探討，第二十九屆廢水處理技術研討會，pp.1-85，台南，計畫編號：NSC 92-2211-E-041-004。
11. 游程凱、荊樹人、張翊峰、蘇璿煜、林平傑、張弘昌，2004 台南縣二行社區自然淨水系統處理社區污水有機物之探討，第二十九屆廢水處理技術研討會，pp.1-52，台南，計畫編號：NSC 92-2211-E-041-004。
12. 林瑩峰、荊樹人、李得元、張翊峰、余元傑、施凱鐘、張弘昌、李穆生，2004，社區水資源再利用與永續經營，第九屆水再生及再利用研討會，pp.21，中壢，計畫編號：NSC 91-2211-E-041-003。
13. 荊樹人、林瑩峰、李得元、王姿文、黃獻文、鍾雯如、施凱鐘，2001，人工溼地處理校園廢污水中營養鹽效能之探討，第六屆水再生及再利用研討會，pp.131-136，台南。
14. 荊樹人、李得元、林瑩峰、王姿文、何茂賢、魏家美、張庭憲，2001，經人工溼地處理後校園廢污水再利用之探討，第六屆水再生及再利用研討會，pp.137-142，台南。
15. 黃獻文、李得元、荊樹人、林瑩峰、王姿慧、劉佳穎、黃倩雯，2002，人工溼地系統處理校園污水中有機物之季節變化，第二十七屆廢水處理技術研討會，w-e-p02，台北，計畫編號：NSC-90-2211-E-041-005。
16. 李得元、荊樹人、林瑩峰、黃倩雯、黃政哲、陳俊宏、王宣羽、許欣潔，2003，人工溼地處理校園污水之水力負荷對懸浮固體物去除效能之探討，第二十八屆廢水處理技術研討會，pp.1-118，台中，計畫編號：NSC-90-2211-E-041-005。
17. 左惠文、李得元、荊樹人、林瑩峰、莊庭禎，2003，人工溼地處理校園廢污水中溫度變化

對大腸菌去除之影響，第二十八屆廢水處理技術研討會，pp.1-120，台中，計畫編號：NSC-91-2211-E-041-012。

18. 歐文生、荊樹人、林瑩峰、林憲德，2003，人工溼地淨化校區污水再利用之研究，第二十八屆廢水處理技術研討會，pp.1-117，台中。
19. 黃獻文、李得元、荊樹人、林瑩峰、黃倩雯、黃政哲、施俊宏，2003，人工溼地處理校園污水之溫度變化對氮磷去除的影響，第二十八屆廢水處理技術研討會，pp.1-119，台中，計畫編號：NSC-90-2211-E-041-005。
20. 左惠文、李得元、簡淑娟，光華女中人工溼地處理校園污水之功能探討，2004，第二十九屆廢水處理技術研討會，pp.1-85，台南，計畫編號：NSC 92-2211-E-041-014。
21. 左惠文、李得元、張翊峰、李俊儀、莊淳凱、賴玟錡，2004，不同水力負荷對人工溼地去除校園廢污水之研究，第二十九屆廢水處理技術研討會，pp.1-83，台南，計畫編號：NSC 92-2211-E-041-014。
22. 左惠文、李得元、許欣潔、黃倩雯、王宣羽、陳俊宏，2004，以人工溼地處理校園廢污水中懸浮固體之研究，第二十九屆廢水處理技術研討會，pp.1-49，台南，計畫編號：NSC 92-2211-E-041-014。
23. Hoek, J. P. van der and Klapwijk, A., "Nitrate removal from ground water." *Wat. Res.*, 21, pp.989-997, (1987).
24. Ingersoll, T. L. and Baker, L. A., "Nitrate removal in wetland microcosms," *Wat. Res.* 32(3), pp.677-684, (1998).
25. 施凱鐘，林瑩峰，荊樹人，李得元，陳俊豪，吳亞潔，人工溼地在不同水力負荷操作下處理受硝酸鹽污染之地下水，第28屆廢水處理技術研討會論文集，台中，(2003)。
26. 工業技術研究院能源及資源研究所

表 1 穩定期(I)大林慈濟醫院人工溼地系統各項水質分析平均值

單位	mg/L							
採樣點	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	TKN	TN	pH	SS	
Influent	0.45	0.57	37.58	0.8	39.0	7.57	17	
FWS1	0.42	0.57	22.22	2.7	25.5	7.77	28	
FWS2	0.51	0.44	21.57	1.5	23.5	7.37	10	
SSF1	0.44	0.39	19.14	1.1	20.7	7.08	5	
SSF2	0.97	0.21	16.01	1.0	17.2	7.41	3	
Effluent	0.67	0.48	11.98	1.0	13.4	7.61	11	
Pond	0.81	0.61	9.44	2.7	12.8	8.61	60	

單位	mg/L					NTU	°C
採樣點	COD	BOD ₅	PO ₄ -P	TP	DO	濁度	水溫
Influent	50	7	2.34	4.84	4.32	9	30.7
FWS1	60	15	2.04	3.75	4.80	11	30.1
FWS2	46	8	1.34	4.38	5.63	20	29.6
SSF1	50	5	1.69	3.81	2.21	15	29.0
SSF2	37	4	1.21	3.60	2.09	5	28.7
Effluent	40	5	0.84	3.04	2.96	6	29.1
Pond	58	14	0.74	2.34	4.93	13	29.4

表 2 世界各國廢(污)水處理回收利用水質標準比較表

參數	California ^a T-22(1978)	U.S.EPA (1992)		WHO (1989)	Israel (1978)	Tunisia (1975)	Cyprus (1997)	France (1991)	Italy (1977)	Taiwan
準則型態	Law	Guidelines		Guidelines	Law	Law	Provisional Standards	Guidelines	Law	Guilelines
最低處理程度	高級處理	高級處理		穩定塘 ^b	二級處理 ^c	穩定塘	三級處理	as WHO	二級處理	—
主要處理程序	氧化、懸浮沉澱、過濾、消毒	過濾消毒		穩定塘	長期儲存、消毒	穩定塘	過濾消毒		—	—
總BOD ₅ (mg/L)	—	10		—	15	30	10		—	—
溶解性BOD ₅ (mg/L)	—	—		—	10	—	—		—	—
COD(mg/L)	—	—		—	—	90	—		—	—
懸浮固體(mg/L)	—	30 ^d		—	15	30	10		—	100
濁度(NTU)	2	2		—	—	—	—		—	—
pH	—	6-9		—	—	6.5-8.5	—		—	6.0-9.0
導電度(dS/cm)	—	—		—	—	7.0	—		—	7.5
溶氧(mg/L)	存在	—		—	0.5	—	—		—	—
總氮(mg/L)	—	—		—	—	—	—		—	1.0
總大腸菌(MPN/100mL)	2.2(50%) ^e	0 ^f		—	2.2(50%) 12(80%)	—	—		2~20	—
糞便性大腸菌(MPN/100mL)	—	不可檢出~200		0~1000	—	—	50		—	—
線蟲蛋數(eggs/100mL) ^g	—	—		0~1	—	<1	0		<1	—
殘餘有效氯(mg/L)	存在	<1.0		—	0.5	—	—		—	—
鹽度	—	—		—	—	—	—		SAR<10 ^h	—
重金屬	—	*長期使用	**短期使用	—	—	—	—	Yes	—	

參數	California ^a T-22(1978)	U.S.EPA (1992)		WHO (1989)	Israel (1978)	Tunisia (1975)	Cyprus (1997)	France (1991)	Italy (1977)	Taiwan
鋁		5	20							5.0
砷		0.1	2			0.1				1.0
鈹		0.1	0.5							0.5
硼		0.75	2.0			3				0.75
鎘		0.01	0.05			0.01				0.01
氯						2000				175
鉻		0.1	1.0			0.1				—
鈷		0.05	5			0.1				0.05
銅		0.2	5			0.5				0.2
氰化物										
氟化物		1	15			3				
鐵		5	20			5				
鉛		5	10			1				0.1
鋰		2.5	2.5							2.5
錳		0.2	10			0.5				2.0
汞						0.001				0.005
鉬		0.01	0.05							
鎳		0.2	2.0			0.2				0.5
硝酸鹽										
硒		0.02	0.02			0.05				0.02
鋅		2	10			5				2.0
釩		0.1	1.0							10.0
油脂										5.0
酚										
Halogenated hydrocarbon						0.001				

表 3 採土壤處理方式以施灌花木、抑制揚塵適用之水質標準

適用範圍	水質項目	最大限值單位(毫克/公升)	
事業、污水下水道系統共同適用	水溫	攝氏三十五度以下	
	氫離子濃度指數	6.0—9.0 (無單位)	
	酚類	0.1	
	氰化物	0.5	
	油脂	礦物類	10
		動植物性	30
	鈉吸著比	6.0 (無單位)	
	總氮	15	
	總磷	2	
	硼	0.75	
	鋁	5.0	
	砷	0.2	
	鉍	0.5	
	鎘	0.01	
	總鉻	0.1	
	鈷	0.05	
	銅	0.2	
	鉛	0.1	
	鋰	2.5	
	錳	0.2	
	總汞	0.005	
	鉬	0.01	
	鎳	0.5	
	硒	0.02	
	釩	10.0	
	鋅	2.0	
	生化需氧量	30	
	懸浮固體	30	
	化學需氧量	100	
	大腸桿菌群	200 (CFU/100mL)	

表 4 中水道二元供水系統建議的水質標準

(資料來源：歐陽山喬暉，中原大學建議書)

	散水用水	景觀用水	廁所沖洗用水
大腸菌數 (個/ml)	不能檢出	不能檢出	10 以下
BOD (mg/L)	-	10 以下	-
pH	5.8-8.6	5.8-8.6	5.8-8.6
濁度	10 以下	5 以下	-
臭氣	無不舒適	無不舒適	無不舒適
外觀	無不舒適	無不舒適	無不舒適
色度 (度)	40 以下	10 以下	40 以下
餘氯	0.4 以上	臭氧消毒	保有餘氯
說明	不與人體接觸為原則	不與人體接觸為原則	
散水用水包含：灑水用水、灌溉用水			

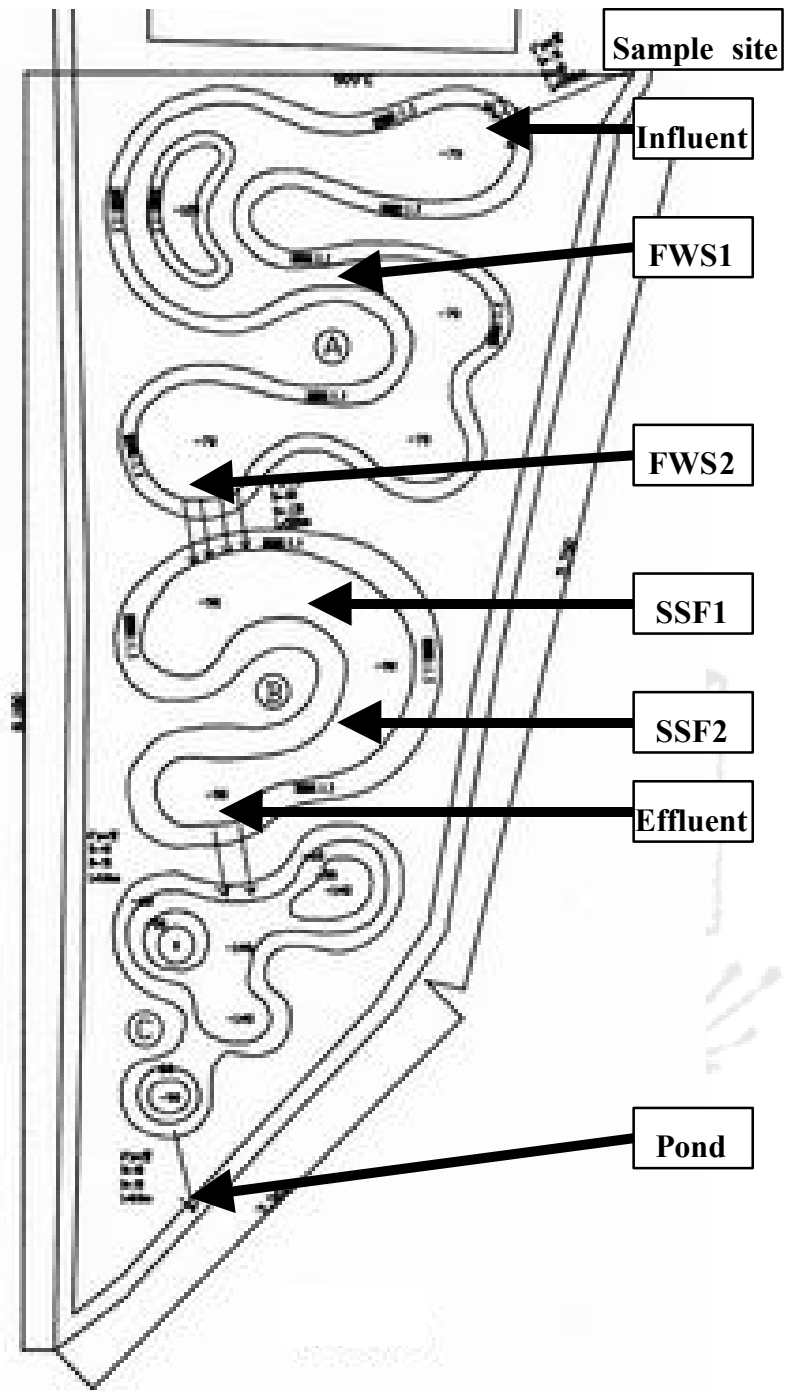


圖 1 大林慈濟人工溼地系統流程及採樣點

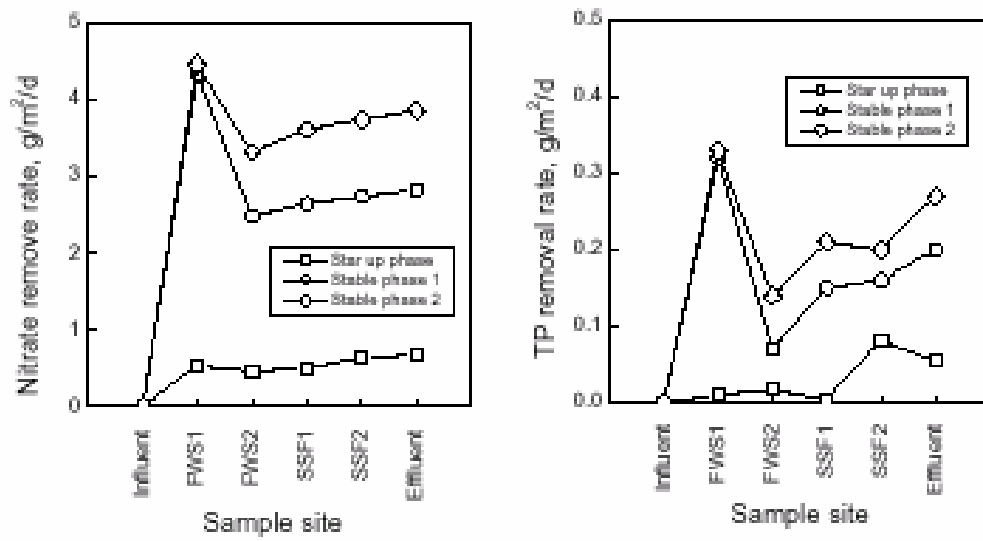


圖 2 本研究之人工溼地系統啟動期與穩定期間的氮、磷去除速率



可供推廣之研發成果資料表

可申請專利

可技術移轉

日期：__年__月__日

<p>國科會補助計畫</p>	<p>計畫名稱：醫療污水處理廠放流水之人工濕地三級處理效能研究 計畫主持人：荊樹人 計畫編號：NSC 94-2211-E-041-017 學門領域：環境工程</p>
<p>技術/創作名稱</p>	<p>污水廠放流水三級處理與再利用的生態技術</p>
<p>發明人/創作人</p>	<p>荊樹人、林瑩峰、李得元</p>
<p>技術說明</p>	<p>中文：由於台灣的用水需求量相當大，廢污水排放量也相當的可觀，在水資源短缺的窘境下，若能針對生活污水再處理而加以利用，除了可以降低環境污染之外，還可減輕用水需求負荷。本技術為利用自然處理的生態技術，進行污水處理廠的放流水三級處理，並達到水資源再利用的目的。</p> <p>英文：Because the water demand is quite great in Taiwan, and cause wastewater plant discharge is quite great, too. Water resource is scanty, if can treat and utilize the sewage again, besides can reduce the environmental pollution, can also reduce water demand load. This technology utilize ecological technology of natural treatment, to treat the wastewater plant discharge in tertiary treat, and achieve the purpose of water resource reuse.</p>
<p>可利用之產業及可開發之產品</p>	<p>污水處理廠、污水處理設施、生態工程業</p>
<p>技術特點</p>	<p>無須消耗太多能源，操作簡便，維護費用低廉，並且可營造出自然生態環境，提供休憩場所。</p>
<p>推廣及運用的價值</p>	<p>傳統的污水處理場的放流水雖然可符合「放流水標準」，但仍無法完全處理廢污水中的氮、磷營養鹽物質，導致承受水體優養化，因此有必要施以三級處理技術，進一步削減廢污水中的氮、磷營養鹽，本技術可提供低成本、節省能源的處理技術，處理污水處理場放流水中的氮、磷營養物質。</p>

- ※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
- ※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
- ※ 3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。