

嘉南藥理大學專題研究計畫成果報告

本計畫名稱：評估本校整體環境品質與節能成效

子計畫名稱：評估本校中水再利用成效以及安全性

計畫編號：CN10310

執行期間：103 年 5 月 1 日至 103 年 12 月 31 日

整合型計畫

個別型計畫

計畫總主持人：陳健民

計畫主持人：

子計畫主持人：荊樹人

中華民國 103 年 12 月 31 日

摘要

水資源的保育與再利用為當前日益重要且受重視的環境議題。本校目前已設置 3 座機械式污水處理廠與一座人工濕地系統，其中新建宿舍之 MBR 污水處理廠處理後之放流水直接應用於宿舍區之沖廁用水，人工濕地放流水除了直接引用於校園廣場與棒球場的植栽澆灌，另外一部分經砂濾與消毒後，再利用於教學區部分教學大樓之沖廁用水，本校之污水再利用已具相當之規模，因此有關中水或直接交灌用水，其水質是否符合於環保署針對建築物生活污水再利用之建議值，為值得關注的議題。本研究擬以新建宿舍區之 MBR 污水處理廠與人工濕地系統為研究對象，針對兩中水供應系統之水質水量進行長期之監測，並探討以下之課題：(1) 本校新建宿舍區污水處理場之水質淨化功能；(2) 監測宿舍區中水使用的水量及水質，並與人工濕地中水系統的水量與水質進行比較，以確保本校中水的安全衛生；(4) 評估中水回收再利用所貢獻的經濟及節能減碳效益。結果顯示本研究進行期間，嘉藥人工濕地與宿舍 MBR 污水處理廠之各項水質均可符合設計要求，嘉藥人工濕地的污染削減除了懸浮固體物、有機物，另外還有部分的氮與磷營養鹽可在系統中進一步被削減，宿舍 MBR 污水處理廠主要削減污染物為懸浮固體物與有機物，無論嘉藥人工濕地的中水回收系統或宿舍 MR 污水處理廠中水，其水質參數大致均可符合環保署建築物污水處理廠回收再利用之建議值，經估算後，嘉藥人工濕地中水回收系統每年可節省約新台幣 50 萬元自來水費，每年可減少 10,567 kg 的二氧化碳排放，宿舍 MBR 污水處理廠中水回收每年可節省約 76 萬元自來水費。每年可減少 15,850 kg 的二氧化碳排放量。



目錄

一、前言	1
二、文獻探討	3
三、研究目的	7
四、研究方法	8
4.1 嘉藥人工濕地系統	8
4.2 宿舍 MBR 污水處理廠	8
4.3 水質採樣與分析	9
五、結果與討論	12
5.1 嘉藥人工濕地系統	12
5.2 宿舍 MBR 污水處理廠	18
六、結論	26
七、參考文獻	27
專題研究/產學合作計畫成果預估-達成表	28



圖目錄

圖 4-1 人工濕地系統與中水沖廁採樣點位	10
圖 4-2 MBR 污水廠與中水沖廁採樣點位	10



表目錄

表 2-1 環保署建議建築物生活污水回收再利用於沖廁中水建議事項.....	6
表 2-2 環保署建議建築物生活污水回收再利用於於景觀、澆灌、灑水抑制揚塵、洗車或清洗地板建議事項.....	6
表 4-1 本研究水質分析項目與方法.....	11
表 5-1 嘉藥人工濕地水質分析結果.....	17
表 5-1 宿舍 MBR 污水廠水質分析結果.....	21
表 5-3 人工濕地中水沖廁系統與宿舍 MBR 污水廠中水與環保署建築物中水再利用建議值比較.....	23
表 5-4 人工濕地放流水澆灌系統與環保署建築物中水再利用建議值比較.....	24
表 5-5 嘉藥兩座中水再利用系統之節能減碳效益估算.....	25



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 m³，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，若能針對污水妥善回收處理後再利用，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。

本校目前具有三座大型的機械式污水處理廠，以及一座人工濕地系統，處理本校教學區與宿舍區的污水，其中教學區與宿舍區前半部所產生的污水，經過污水處理廠處理後，部分的二級放流水被引流至



人工濕地系統再淨化，經人工濕地再淨化的放流水，一部份再利用應用於校園廣場、棒球廠的草皮、植栽澆灌，一部分淨化的人工濕地放流水經過砂濾、消毒後應用於廁所沖廁，人工濕地淨化水的每日應用量大約為 130 CMD。

2013 年宿舍園區後半部的污水處理廠完工，該污水處理的放流水經過砂濾、加氯消毒後，再利用於宿舍園區中廁所的沖廁，並結合雨水回收系統，形成完整的雨水、中水沖廁應用系統。

本校已逐步在宿舍園區與教學區執行中水回收再利用政策，因此有必要針對回收使用的中水施行水質監測工作，查核是否經常性可符合環保署所頒布之中水回回再利用關規定，因此本研究擬針對本校中水回收設施，以及新設之 MBR 污水處理廠進行水質水量監測工作，以提供日後有關中水回收再利用、污水處理廠操作之參考。



二、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，以美國為例，在加州地區的水資源相當匱乏，必須仰賴他洲的接濟，因此在加州地區進行污水三級處理後，再進行回收利用的誘因相當大。由於加州橘郡主要淡水來源 70% 為來自地下水，但由於過度抽取地下水，致使濱海沿岸地區海水入侵地下水的情況相當嚴重，進而造成地下水鹽化的問題，因此當地進行污水再利用的主要用途為補助地下水。污水三級與回收系統的水源為二級處理廠部分放流水，以三級處理結合回收系統處理過後在注入地下水，三級處理與污水回收系統包含：次氯酸鈉處理(用以防止後續濾膜處理產生生物膜)、微篩(去除懸浮固體、細菌、原生生物等)，逆滲透濾膜(去除溶解性有機物、農藥、溶解性固體等)，紫外線及過氧化氫強勢氧化處理(去除有害微生物及殘留有機物等)及加石灰(補充礦物質以防止腐蝕管件)等單元⁽³⁾。另外，在亞歷山納州的鳳凰城，由於當地政府欲在二十年內，達到回收污水佔總用水量的 25% 目標，因此規劃新建之污水處理設時，也將三級處理與污水回收的處理單元一併併歸納於污水處理設施中。其三級處理與回收系統的規劃設備，為在一般的二級生物處理設施之後，銜接一逆流式沙濾裝置，紫外線消毒等，使其污水廠的放流水經三級處理與污水回收之後，即可達到污水回收的標準⁽⁴⁾。



在地中海盆地國家中，以色列為實行廢水再利用發展之先驅國家，以色列大約有 92% 之廢水透過下水道系統被收集，其中有 72% 經過三級與回收處理後再利用，而這些回收再利用水量，有 42% 被用做灌溉用途，另有 30% 被用做地下水補注，有關廢水三級與回收再利用必須經過當地政府機關所允許，特別是用作灌溉水質必須符合衛生單位所制定標準⁽⁵⁾。

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園區設施的清洗、花草的澆灌，以及市區道路清洗、行道樹的澆灌等。

然而，傳統的廢水處理程序並無法有效地處理特性日新月異的廢水，而且使得處理成本日益增加，處理水質亦不穩定。由於薄膜程序可同時去除各種有機及無機物質，相較其他物化程序具有更多彈性，並可作為傳統高級物化程序的替代程序，為現階段最具潛力的廢水回收再利用技術⁽⁶⁾。

近年來傳統活性污泥結合薄膜單元發展出薄膜生物反應槽 (Membrane bioreactor, MBR)，利用薄膜取代沉澱池，達到固液分離的效果。由於 MBR 處理程序能對各種廢水有相當程度的去除效率，且出流水可達放流水標準，但也因其反應器型式、薄膜種類、孔徑大小與進流水質特性的差異，造成出流水中仍有或多或少的污染物，若欲將 MBR 出流水回收至較高標準的回收用水，則仍須有進



一步處理的必要⁽⁵⁾。

本校所建立之中水回收系統，無論是人工濕地的出流水，或是宿舍污水處理廠 MBR 系統之出流水，應用於校園內植栽澆灌，或是應用於教學區與宿舍區的廁所沖廁，其水質均應符合環保署所公告之「建築物生活污水再利用建議事項」中，建築物生活污水回收再利用於沖廁使用者，其處理水質建議值如表 1 與表 2 所示。



表 2-1 環保署建議建築物生活污水回收再利用於沖廁中水建議事項

再利用用途	水質項目	單位	限值
沖廁	大腸桿菌群	CFU/100 mL	200
	餘氯	mg/L	結合餘氯 0.4 以上且自由餘氯 0.1 以上
	外觀	-	無不舒適感
	BOD _{5, 20°C}	mg/L	最大限值 15 以下且連續 7 日平均限值 10 以下
	臭味	-	無不舒適感
	pH	-	6.0-8.5
備註	本表水質建議值如回收再利用水質處理係採加氯消毒以外方式如臭氧或紫外線等消毒者，因考量無殘留消毒效果，其大腸桿菌群之限值要求應不得檢出。		

表 2-2 環保署建議建築物生活污水回收再利用於於景觀、澆灌、灑水抑制揚塵、洗車或清洗地板建議事項

再利用用途	水質項目	單位	限值
景觀、澆灌、灑水 抑制揚塵、洗車或 清洗地板者	餘氯	mg/L	結合餘氯 0.4 以上
	濁度	NTU	最大限值 5 以下且平均限值 2 以下
	BOD _{5, 20°C}	mg/L	最大限值 15 以下且連續 7 日平均限值 10 以下
	臭味	-	無不舒適感
	pH	-	6.0-8.5
備註	本表水質建議值如回收再利用水質處理係採加氯消毒以外方式如臭氧或紫外線等消毒者，因考量無殘留消毒效果，其大腸桿菌群之限值要求應不得檢出。		



三、研究目的

1. 探討本校新建宿舍區污水處理場之水質淨化功能。
2. 監測宿舍區中水使用的水量及水質，並與人工濕地中水系統的水量與水質進行比較，以確保本校中水的安全衛生。
3. 評估中水回收再利用所貢獻的經濟及節能減碳效益。



四、研究方法

4.1 嘉藥人工濕地系統

嘉藥人工濕地系統佔地面積約為 11,000 m²，收集校園內機械式污水處理場的放流水，流經兩個主要的淨化單元：表面下流動式 (subsurface flow system, SSF) 溼地(1,450 m²)及表面流動式 (free water surface, FWS) 溼地(2,200 m²)，淨化後的水大部份排入景觀生態池 (3,800 m²)，另有一部份提供沖廁及澆灌之中水利用。人工溼地系統於 2005 年 11 月開始操作至今，實際處理污水量約為 300 CMD。

後續連接之放流水澆灌系統，上課日回收應用於澆灌之水量約為 70~80 CMD，人工濕地中水沖廁回收系統，上課日回收水量約為 60~70 CMD。放流水澆灌系統之水源來自景觀生態池之池水，中水沖廁系統之水源來自 SSF 濕地放流水，並設置砂濾與加氯消毒兩個單元，以去除水中的懸浮性藻類與大腸桿菌群，符合衛生要求。

4.2 宿舍 MBR 污水處理廠

宿舍區 MBR 污水處理設置於本校宿舍區，具有除油沉砂池、調整池、細篩機、脫氮池、曝氣池、MBR 池、回收貯水池、放流池等單元，以處理學生宿舍污水為目標，每日平均處理污水量約為



150~300 CMD，自 2014 年初開始操作至今，處理後的放流水再送至宿舍區之砂濾單元後，提供宿舍區之沖廁用水。

4.3 水質採樣與分析

本研究擬以本校兩座供應中水沖廁或植栽澆灌之處理系統：MBR 污水處理廠，以及人工濕地系統為研究對象，分別針對各處理系統或單元的進出流水、以及應用端的沖廁所，進行水質水量監測，以了解本校中水系統的水質良窳。採樣之採樣點位如圖 4-1 與圖 4-2 所示。

本研究之水質分析方法均遵照環檢所公告之檢驗方法，水質檢驗項目予分析方法如表 4-3 所示。

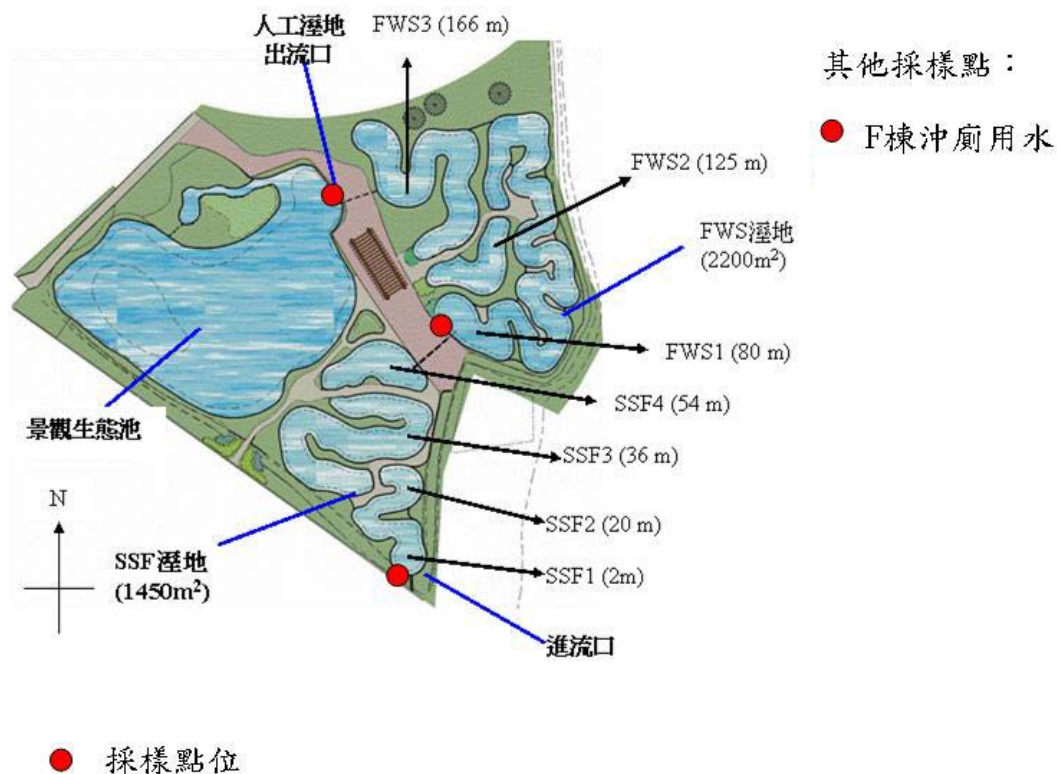


圖 4-1 人工濕地系統與中水沖廁採樣點位

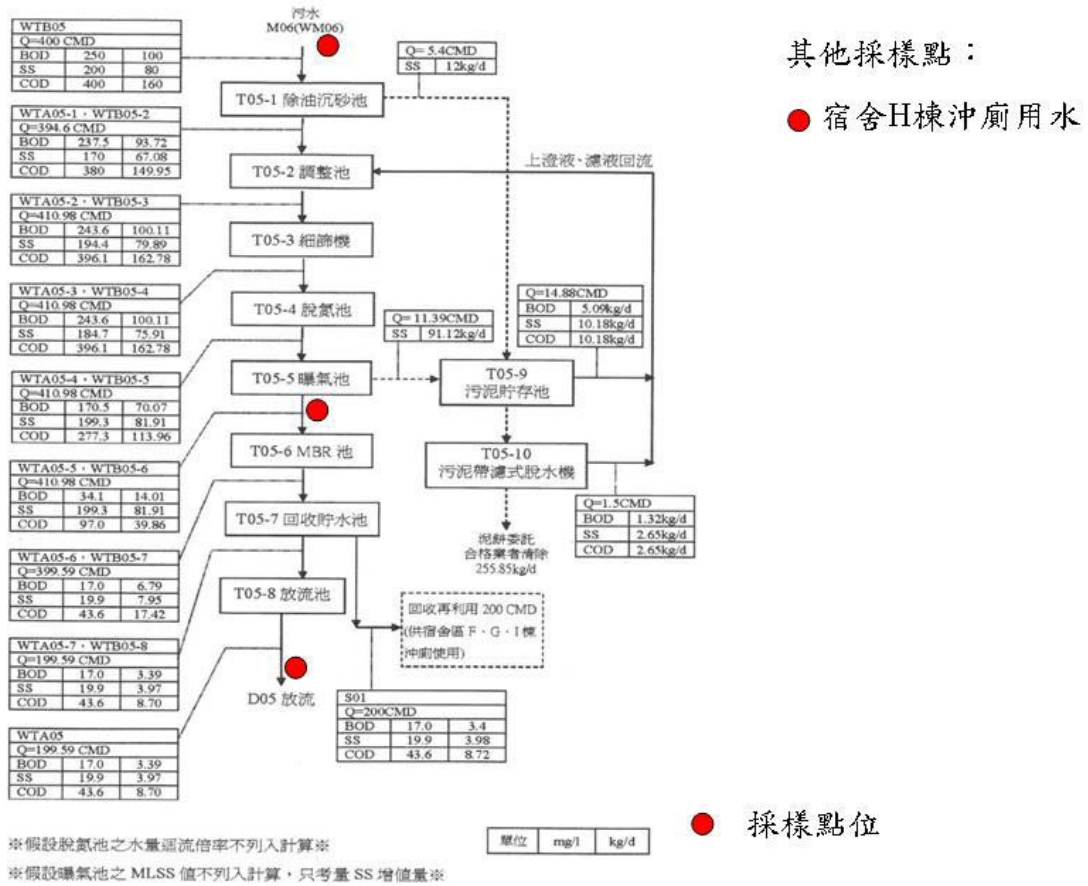


圖 4-2 MBR 污水廠與中水沖廁採樣點位



表 4- 1 本研究水質分析項目與方法

監測項目	檢驗方法	檢驗法編號
pH 值	pH 計電極	NIEA W424.52A
水溫	溫度計	NIEA W217.51A
導電度	導電度計	W203.51B
濁度	濁度計法	NIEA W219.52C
DO	以 DO 電極於現場現測	W455.52C
SS	重量法(103°C)	NIEA W210.57A
BOD	-	NIEA W510.54B
COD	密閉迴流滴定	NIEA W517.52B
NH3-N	離子層析儀	APHA 4500-NH3-H
NO3-N	離子層析儀	NIEA W415.52B
NO2-N	離子層析儀	NIEA W415.52B
TKN	消化與蒸餾	NIEA W451.51A
TN	TKN+NO3-N+NO2-N	NIEA W423.52C
TP	比色法	NIEA W427.52B
大腸桿菌群	酵素呈色濾膜法	NIEA E202.54B
餘氯	比色法	NIEA W408.51A



五、結果與討論

5.1 嘉藥人工濕地系統

本研究之嘉藥人工濕地水質分析結果如表 5-1 所示。

DO 濃度：

人工濕地進流水的 DO 濃度為 1.4 mg/L，經 SSF 濕地單元後的出流水 DO 濃度為 0.8 mg/L，FWS 濕地單元流水 DO 濃度為 4.4 mg/L，經砂濾與加氯單元後的回收水塔 DO 濃度為 4.0 mg/L，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體 DO 濃度為 3.1 mg/L。

SS 濃度：

人工濕地進流水的 SS 濃度為 5.8 mg/L，經 SSF 濕地單元後的出流水 SS 濃度為 6.0 mg/L，FWS 濕地單元流水 SS 濃度為 2.4 mg/L，經砂濾與加氯單元後的回收水塔 SS 濃度為 2.4 mg/L，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體 SS 濃度為 2.6 mg/L。

BOD 濃度：

人工濕地進流水的 BOD 濃度為 5.8 mg/L，經 SSF 濕地單元後的



出流水 BOD 濃度為 6.0 mg/L，FWS 濕地單元流水 BOD 濃度為 2.4 mg/L，經砂濾與加氯單元後的回收水塔 BOD 濃度為 2.4 mg/L，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體 BOD 濃度為 2.6 mg/L。

COD 濃度：

人工濕地進流水的 COD 濃度為 36.8 mg/L，經 SSF 濕地單元後的出流水 COD 濃度為 16.0 mg/L，FWS 濕地單元流水 COD 濃度為 16.5 mg/L，經砂濾與加氯單元後的回收水塔 COD 濃度為 10.3 mg/L，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體 COD 濃度為 4.0 mg/L。

NH₃-N 濃度：

人工濕地進流水的 NH₃-N 濃度為 18.75 mg N/L，經 SSF 濕地單元後的出流水 NH₃-N 濃度為 26.80 mg N/L，FWS 濕地單元流水 NH₃-N 濃度為 14.85 mg N/L，經砂濾與加氯單元後的回收水塔 NH₃-N 濃度為 10.88 mg N/L，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體 NH₃-N 濃度低於 0.01 mg N/L。

NO₃-N 濃度：



人工濕地進流水的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度為 1.42 mg N/L ，經 SSF 濕地單元後的出流水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度低於 0.01 mg N/L ，FWS 濕地單元流水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度為 1.32 mg N/L ，經砂濾與加氯單元後的回收水塔 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度為 2.69 mg N/L ，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度為 1.24 mg N/L 。

$\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度：

除了以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體所測得之 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度為 0.72 mg N/L ，其他本研究於人工濕地與其他監測點為之水體所測得之 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度均低於為 0.01 mg N/L 。

TKN 濃度：

人工濕地進流水的 TKN 濃度為 24.4 mg N/L ，經 SSF 濕地單元後的出流水 TKN 濃度為 27.8 mg N/L ，FWS 濕地單元流水 TKN 濃度為 14.9 mg N/L ，經砂濾與加氯單元後的回收水塔 TKN 濃度為 11.7 mg N/L ，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體 TKN 濃度低於 0.01 mg N/L 。

TN 濃度：



人工濕地進流水的 TN 濃度為 24.4 mg N/L，經 SSF 濕地單元後的出流水 TN 濃度為 27.8 mg N/L，FWS 濕地單元流水 TN 濃度為 16.2 mg N/L，經砂濾與加氯單元後的回收水塔 TN 濃度為 14.4 mg N/L，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體 TN 濃度低於 2.0 mg N/L。

PO₄-P 濃度：

人工濕地進流水的 PO₄-P 濃度為 0.92 mg P/L，經 SSF 濕地單元後的出流水 PO₄-P 濃度為 1.54 mg P/L，FWS 濕地單元流水 PO₄-P 濃度為 1.02 mg P/L，經砂濾與加氯單元後的回收水塔 PO₄-P 濃度為 0.90 mg P/L，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體 PO₄-P 濃度低於 0.01 mg P/L。

TP 濃度：

人工濕地進流水的 TP 濃度為 2.2 mg P/L，經 SSF 濕地單元後的出流水 TP 濃度為 1.9 mg P/L，FWS 濕地單元流水 TP 濃度為 1.5 mg P/L，經砂濾與加氯單元後的回收水塔 TP 濃度為 1.8 mg P/L，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體 TP 濃度低於 1.3 mg P/L。

大腸桿菌群：



人工濕地進流水的大腸桿菌群為 4.6×10^6 CFU/100 mL，經 SSF 濕地單元後的出流水大腸桿菌群濃度為 3.8×10^4 CFU/100 mL，FWS 濕地單元流水大腸桿菌群濃度為 3.8×10^2 CFU/100 mL，經砂濾與加氯單元後的回收水塔大腸桿菌群濃度低於 1 CFU/100mL，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體大腸桿菌群濃度低於 1 CFU/100mL。

餘氯濃度：

於人工濕地內所採取水樣的總餘氯濃度均低於 0.01 mg/L，經砂濾與加氯單元後的回收水塔總餘氯濃度為 0.42 mg/L，以本人工濕地中水為水源之廁所水箱的水體總餘氯濃度為 0.40 mg/L。

綜合上述之水質檢驗結果，嘉藥人工濕地中無論於懸浮固體物或、有機物濃度、氮磷、大腸桿菌群均發揮應有的功能，具一定的污染削減能力，且出流水質與水量大致可應付後端中水再利用所需之水質水量。



表 5- 1 嘉藥人工濕地水質分析結果

採樣點	進流	SSF 出流	FWS 出流	回水水塔	廁所水箱
水質項目					
pH	7.8	7.6	7.6	7.8	7.8
ORP, mv	149	210	169	173	205
DO, mg/L	1.4	0.8	4.4	4.0	3.1
導電度, $\mu\text{s}/\text{cm}$	440	456	406	370	401
SS, mg/L	5.8	6.0	2.4	2.4	2.6
BOD, mg/L	5.6	3.9	5.6	3.6	5.6
COD, mg/L	36.8	16.0	16.5	10.3	4.0
NH ₃ -N, mg N/L	18.75	26.80	14.85	10.88	<0.01
NO ₃ -N, mg N/L	1.42	<0.01	1.32	2.69	1.24
NO ₂ -N, mg N/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.72
TKN, mg N/L	24.4	27.8	14.9	11.7	<0.01
TN, mg N/L	24.4	27.8	16.2	14.4	2.0
PO ₄ -P, mg P/L	0.92	1.54	1.02	0.90	<0.01
TP, mg P/L	2.2	1.9	1.5	1.8	1.3
大腸桿菌群, CFU/100 mL	4.6×10^6	3.8×10^4	3.8×10^2	<1	<1
餘氯, mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	0.42	0.40



5.2 宿舍 MBR 污水處理廠

SS 濃度：

如表 5-2 所示，進流於宿舍污水廠之 SS 濃度為 21.5 mg/L，經沉砂、細篩與調整池單元後，濃度降低為 12.5 mg/L，於 MBR 槽過濾前的 SS 濃度為 1,228 mg/L，經 MBR 過濾後的放流/回收水，SS 濃度降低為 11.0 mg/L。

BOD 濃度：

宿舍 MBR 污水廠 BOD 濃度變化如表 5-2 所示，進流 BOD 濃度為 31.5 mg/L，經沉砂池與調整池單元後，BOD 濃度降低為 20.7 mg/L，MBR 槽 BOD 濃度(以濾膜過濾懸浮固體物)為 13.6 mg/L，放流/回流水濃度為 2.37 mg/L。

COD 濃度：

COD 濃度變化如表 5-2 所示，進流 COD 濃度為 68.4 mg/L，經沉砂池與調整池單元後 COD 濃度降低為 49.3 mg/L，MBR 槽 COD 濃度為 32.4 mg/L，放流/回流水濃度為 10.3 mg/L。

NH₃-N 濃度：

MBR 污水廠的進流 NH₃-N 濃度為 41.62 mg N/L，經沉砂與調整池後的 NH₃-N 濃度為 41.20 mg N/L，MBR 槽內的 NH₃-N 濃度低於 0.01 mg N/L，放流/回收槽內的 NH₃-N 濃度同樣低於 0.01 mg N/L。

NO₃-N 濃度：



MBR 污水廠的進流 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度低於 0.01 mg N/L ，經沉砂與調整池後的濃度低於 0.01 mg N/L ，MBR 槽內的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度為 41.03 mg N/L ，放流/回收水槽內的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度為 44.53 mg N/L 。

$\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度：

本研究於 MBR 污水廠測得之 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度均低於 0.01 mg N/L 。

TKN 濃度

本研究之宿舍 MBR 污水廠的 TKN 濃度變化如表 5-2 所示，進流 TKN 濃度為 51.6 mg N/L ，經沉砂池與調整池單元後 TKN 濃度為 53.4 mg N/L ，MBR 槽 TKN 濃度低於於 0.01 mg N/L ，放流/回流水濃度同樣低於 0.01 mg N/L 。

TN 濃度

進流 TN 濃度為 51.6 mg N/L ，經沉砂池與調整池單元後 TN 濃度為 53.4 mg N/L ，MBR 槽 TN 濃度為 41.0 mg N/L ，放流/回流水濃度為 44.5 mg N/L 。

$\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度：

本研究之 MBR 污水廠進流 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度為 1.78 mg P/L ，經沉砂池與調整池單元後濃度為 1.82 mg P/L ，MBR 槽 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度為 2.49 mg P/L ，放流/回流水濃度為 2.56 mg P/L 。

TP 濃度：

本研究之 MBR 污水廠進流 TP 濃度為 2.95 mg P/L ，經沉砂池與



調整池單元後濃度為 3.01 mg P/L，MBR 槽 PO₄-P 濃度為 3.19 mg P/L，放流/回流水濃度為 3.14 mg P/L。

大腸桿菌群濃度：

本研究之污水廠進流水大腸桿菌群濃度為 1.4×10^7 CFU/100 mL，出流/回收槽內的大腸桿菌群濃度低於為 1 CFU/100 mL。

餘氯濃度：

本研究之污水廠內監測之水樣均無法監測到水中餘氯濃度。

綜合上述之水質檢驗結果，宿舍 MBR 污水處理廠於懸浮固體物或與有機物均發揮應有的功能，具有一定的污染削減能力，然而總氮與總磷的削減仍有調整的空間，不過整體的水質應可應付宿舍區部分的中水再利用所需。



表 5-2 宿舍 MBR 污水廠水質分析結果

採樣點	水質項目			
	進流	調整池出流	MBR 槽	放流/回收
pH	7.7	7.7	7.8	7.6
ORP, mv	121	129	175	211
導電度, $\mu\text{s}/\text{cm}$	496	498	413	420
SS, mg/L	21.5	12.5	1,228	11.0
BOD, mg/L	31.5	20.7	13.6	2.37
COD, mg/L	68.4	49.3	32.4	10.3
NH ₃ -N, mg N/L	41.62	41.20	<0.01	<0.01
NO ₃ -N, mg N/L	<0.01	<0.01	41.03	44.53
NO ₂ -N, mg N/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
TKN, mg N/L	51.6	53.4	<0.01	<0.01
TN, mg N/L	51.6	53.4	41.0	44.5
PO ₄ -P, mg P/L	1.78	1.82	2.49	2.56
TP, mg P/L	2.95	3.01	3.19	3.14
大腸桿菌群, CFU/100 mL	1.4×10^7	2.5×10^7	TNTC	< 1
餘氯, mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01



5.3 人工濕地與宿舍 MBR 污水廠再利用水質與環保署規劃之比較

本研究將人工濕地中水沖廁系統之水體與 MBR 污水廠回收水之監測結果，與環保署有關『建築物生活污水再利用建議事項』裡有關中水沖廁之各項水質參數建議值比較，結果如表 5-3 所示，其中大腸桿菌群因人工濕地中水沖廁再利用系統具備加氯(漂白水)設施，可定量將漂白水加入中水於儲水塔中，因此可測得回收水中的大腸桿菌群濃度已經非常低，宿舍 MBR 污水處理的回收水中所測得的大腸桿菌群濃度也非常低；BOD 濃度方面，嘉藥人工濕地系統的中水沖廁再利用系統中的儲水塔所監測之 BOD 濃度均符合建議值之要求，宿舍 MBR 污水處理廠則低於最大限值 15 mg/L，但略高於平均限值 10 mg/L 以下，但大致而言均可符合建議值之要求；其他 pH 值、外觀與臭味均符合建議值。

嘉藥進行中水再利用於沖廁之兩大系統，其水質參數值均符合環保署之建議值。

表 5-4 為嘉藥人工濕地系統放流水澆灌系統之水體(生態池水)與環保署之中水再利用有關應用於景觀或抑制揚塵等之建議值比較，其中，除了餘氯沒有符合建議值，其他水質參數如濁度、BOD、pH 與臭味等均符合建議值之規範。另外因本校之景觀、植栽與草皮之澆灌用水均採用漫流澆灌為主，且人工濕地之景觀生態池水已經非常接近自然水體之水質，故雖然澆灌系統並無加氯設施，但該水體的再利用只要不採用噴灑，且僅使用於植栽、草皮之再利用，再利用方式應可降低水體含大腸菌群導致公共衛生的疑慮。



表 5-3 人工濕地中水沖廁系統與宿舍 MBR 污水廠中水與環保署建築物中水再利用建議值比較

再利用用途	水質項目	限值	嘉藥人工濕地中水沖廁再利用系統	宿舍 MBR 污水處理廠
沖廁	大腸桿菌群, CFU/100 mL	200	<1	<1
	餘氯, mg/L	結合餘氯 0.4 以上且自由餘氯 0.1 以上	0.40~0.42	<0.01
	外觀	無不舒適感	水質略為偏黃, 但無不舒適感。	正常
	BOD _{5, 20°C} , mg/L 備註: 最大限值 15 以下且 連續 7 日平均限值 10 以下	最大限值 15 以下且 連續 7 日平均限值 10 以下	3.6~5.6	10.3
	臭味	無不舒適感	無臭味	無臭味
	pH	6.0-8.5	7.8	7.6
備註	本表水質建議值如回收再利用水質處理係採加氯消毒以外方式如臭氧或紫外線等消毒者, 因考量無殘留消毒效果, 其大腸桿菌群之限值要求應不得檢出。			



表 5-4 人工濕地放流水澆灌系統與環保署建築物中水再利用建議值比較

再利用用途	水質項目	限值	嘉藥人工濕地中水用於澆灌
景觀、澆灌、灑水 抑制揚塵、洗車或 清洗地板者	餘氯, mg/L	結合餘氯 0.4 以上	<0.01
	濁度, NTU	最大限值 5 以下 且平均限值 2 以下	3~5
	BOD _{5, 20°C} , mg/L	最大限值 15 以下 且 連續 7 日 平均限值 10 以下	3.6~5.6
	臭味	無不舒適感	無臭味
	pH	6.0-8.5	7.8
備註	本表水質建議值如回收再利用水質處理係採加氯消毒以外方式如臭氧或紫外線等消毒者，因考量無殘留消毒效果，其大腸桿菌群之限值要求應不得檢出。		

5.4 節能減碳效益

本研究採用以下之參數估算人工濕地水資源再利用與宿舍 MBR 污水處理廠水回收之節能減碳效益：

每度自來水 CO₂ 排放量：0.193 kgCO₂

每度自來水費用：新台幣 9.3 元

如表 5-5 所示，嘉藥人工濕地系統包含水沖廁回收系統與中水澆灌系統，合計每日中水回收量約為 150 m³，宿舍 MBR 污水處理廠處理水量幾乎等於回收水量，取本研究統計之處理水量平均值，



以回收水量為每日 225 m³ 估算。

嘉藥人工濕地中水回收系統每年約可節省 50 萬元之自來水費，每年減少 10,567 kg 的二氧化碳排放，宿舍 MBR 污水廠可節省 76 萬元之自來水費，每年可節省 15,850 kg 的二氧化碳排放。

表 5-5 嘉藥兩座中水再利用系統之節能減碳效益估算

參數	嘉藥人工濕地中水回收系統	宿舍 MBR 污水處理廠水中水回收系統
每日回收水量	150 m ³ /day	225 m ³ /day
每年回收水量	54,750 m ³ /year	82,125 m ³ /year
每年節省自來水費	新台幣 509,175 元	新台幣 763,763 元
每年減少二氧化碳排放量	10,567 kg CO ₂ /year	15850 kg CO ₂ /year
備註：		
1. 自來水費以每度 9.3 元計算。		
2. 自來水二氧化碳排放量為每度 0.193 kg CO ₂ 估算。		



六、結論

1. 本研究進行期間，嘉藥人工濕地與宿舍 MBR 污水處理廠之各項水質均可符合設計要求。
2. 嘉藥人工濕地的汙染削減除了懸浮固體物、有機物，另外還有部分的氮與磷營養鹽可在系統中進一步被削減，宿舍 MBR 污水處理廠主要削減汙染物為懸浮固體物與有機物。
3. 無論嘉藥人工濕地的中水回收系統或宿舍 MR 污水處理廠中水，其水質參數大致均可符合環保署建築物污水處理廠回收再利用之建議值。
4. 經估算後，嘉藥人工濕地中水回收系統每年可節省約新台幣 50 萬元自來水費，每年可減少 10,567 kg 的二氧化碳排放，宿舍 MBR 污水處理廠中水回收每年可節省約 76 萬元自來水費。每年可減少 15,850 kg 的二氧化碳排放量。



七、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. D. Smith, 2003. Reuse the Island way, Water environment & techlogy, water environment federation, USA. Vol. 15, No.1, Jan, pp30-34.
4. S. Goldman et al., 2003, Beyond Hollywood, Water environment & techlogy, water environment federation, USA. Vol. 15, No.9, Sept, pp30-34.
5. 盧文章、鄒易達譯，2000，地中海盆地國家廢水回收再利用實施現況(上)，節水季刊 17 期。
6. 林敬傑，薄膜程序處理及回收薄膜生物反應槽(MBR)出流水之研究，中央大學環境工程研究所碩士論文，2007。



專題研究/產學合作計畫成果預估-達成表

計畫名稱		評估本校中水再利用成效以及安全性			
合作廠商				計畫主持人/ 職稱	荊樹人教授
計畫編號		CN10310		單位	環工系
人才培育		碩士生	2	大學生	2
計畫期程與經費		執行期程	103/5~103/12	執行經費	新台幣 6 萬元整
成果項目			預估	實際達成	填寫說明
專利	申請	國內外件數	0	0	提出專利申請者並已得收件編號者為「專利申請」；獲核准並公告者為「專利獲得」；已獲得之專利授權他人使用為「專利應用」。
	獲得	國內外件數	0	0	
	應用	國內外件數	0	0	
論文(篇)	期刊	國內	0	0	「論文」包括在專業性期刊上刊登之「期刊」論文和參加專門性會議(討論會)所發表之論文。
		國外	0	0	
	研討會	國內	1	預定尋找適合之研討會投討	
		國外	0	0	
研討/說明會		場次	0	0	「研討/說明會」指將研究成果以公開的方式向業界說明而舉辦之活動，包含技術研討會、技術說明會、發表會等。



應用於 教學成果	應用於教材	0	0	「應用於教學成果」泛指計畫成果應用在教學上，協助課程教學，包含「應用於教材」、「應用於課程設計」及「應用於實驗、實習」。
	應用於課程設計	0	0	
	應用於實驗、實習	2	2	

9806 研發處版本

請計畫主持人於結案時填寫「預估」欄位後繳回研發處，結案後一年填寫「實際達成」欄位。

※ 有實際達成者請繳交相關佐證資料。

※ 未繳交者將作為日後申請校內研究補助案核定參考

