

以人工濕地改善營區放流水質之研究



作者簡介

作者劉威廷下士，畢業於國立中正大學化學暨生物化學所碩士，化訓中心儲士班 104-1 期，現任化生放核防護研究中心戰劑化驗士。

提要

- 一、環保署依據水污染防治法訂定放流水排放標準，對事業、污水下水道系統及建築物之放流水作管制，國軍營區亦屬管制範圍。
- 二、現行國軍營區以小型污水處理設施進行放流水水質處理，部分營區放流水水質可能未達環保署訂定排放標準，礙於早期營區建築物增設污水處理設施接管工程施作不易，故研究設置人工濕地以改善放流水質。
- 三、人工濕地為仿效天然濕地，具有水質淨化與生態保育功能，且較一般污水處理設施操作維護容易。
- 四、本研究以常見約 150 人營區為例，規劃建構人工濕地以改善放流水水質。

關鍵詞：放流水標準、生態工法、人工濕地 (Constructed Wetlands)

前言

環保署為預防水污染，維護生態體系及國民健康，民國 63 年公布實行「水污染防治法」，其第七條第二項針對各事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施之排放水訂定水質標準¹，國軍營區亦屬管制範圍。

國軍營區污水類型多屬非工廠類型的生活污水，其來源為炊爨作業、人員盥洗、設備清潔與糞尿污水。一般污水處理方法以化糞池、油水分離槽等設施為主。分析歷年國軍營區放流水水質檢測結果，顯示部分營區仍未達環保署放流水標準。而生活污水主要不合格項目為化學需氧量(chemical oxygen demand, COD)、生化需氧量(biological oxygen demand, BOD)、油脂，檢討原因多為營區未落實油水分離槽清理，但生活污水組成複雜，除以油水分離槽作伙房污水中油脂成分的初步處理外，在官兵日常生活中所放流之污水，亦含許多未經處理的清潔劑、食品等有機物質成份，造成水質中 BOD 及 COD 值的增加，故應全般檢討，設置符合需求之污水處理設施，但囿於增設大型污水處理設施，經費需求較高致無法全面實施。檢視現今生態工法在處理建築物生活污水、事業放流水的技術上，已有成熟的研究與應用方式²，可運用於放流水未達環保署標準之營區，在預算經費不足以新建較大規模之污水處理設施之情形下，可利用營區腹地廣大特性，建構造價相對低廉且具水質淨化功能之人工濕地。人工濕地

1 行政院環境保護署，<http://www.epa.gov.tw/mp.asp?mp=epa>，瀏覽日期：2017 年 5 月 22 日。

2 Amelia K. Kivaisi, "The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review," Ecological Engineering, Vol 16, 2001, p. 545~560.

具有針對放流水水質中 BOD 改善效率佳的特性，可與部隊既有之油水分離槽配合，提升水質處理成效以符合環保署放流水標準。故本研究研議利用生態工法建構人工濕地，達成污水處理及環境美化，協助營區改善放流水未達排放標準的問題。

人工濕地簡介

依據 1971 年的拉姆薩公約(Ramsar convention)，其濕地的定義為：「無論天然或人為、永久或暫時、靜止或流水、淡水或鹹水、或二者混合者，由沼澤(marsh)、泥沼地(fen)、泥煤地(peatland) 或水域所構成之地區，其水深在低潮時不高於六公尺者。」³

濕地除了擁有豐富的自然生態外，如同天然淨水器一般，透過植株密度減緩水流的速度，使固體懸浮物和有機污染物沉澱，並利用濕地中的動植物吸附與轉換污染物質，達到水質淨化功能。過程中不須要耗費過多的電力及人力成本，以一公頃的潮間帶濕地的淨化能力，約等同於現代污水處理廠花費 123,000 美元處理費用的效能。⁴無論是為了野生動物棲息復育的目的或降低處理污水的成本，許多研究學者逐漸發展出模擬天然濕地所營造的環境，稱之為人工濕地。

一、淨化機制與原理

人工濕地是一種以人為方式操作及控制濕地中各種水力學 (hydraulics) 參數及環境，依據不同水污染防治處理需求調整至適當條件的技術⁵，系統中包含土壤、砂土、礫石、動植物，利用自然界的物理、化學及生物性機制來進行污染物的淨化，這些淨化機制與目前污水處理廠的水質淨化程序類似，不同的是在人工濕地系統中，處理機制較少動用到大型機具的輔助或化學藥品的使用，可節省能源的消耗與化學藥品專責人員人力上的建置。關於人工濕地的淨化機制與原理⁶介紹如下。

(一)物理機制

1. 沉降(sedimentation)：係利用重力將密度大於水的固體顆粒從水層中分離，透過調控適當的水力停留時間(hydraulic residence time, HRT)，可除去進流水中的懸浮固體，若此沉降固體屬於有機性，會進一步被微生物行礦化作用(mineralization)，若為無機性則形成淤泥沉積於系統底部。系統沉降速率可由 Stokes' law (式 1) 表示。式 1：

$$P = k \frac{g(\rho_s - \rho_w) \times d_m^2}{\rho_w \times \eta_T}$$

3 Ramsar Convention on Wetlands，<http://www.ramsar.org/>，瀏覽日期：2017 年 5 月 22 日。

4 Beatlay, Mitchell, "Millennium Wetland Event, Programs with Abstracts" 2000, pp. 6.

5 美國環境保護署 U.S.EPA. Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment. 1988, pp. 4.

6 歐文生，國立成功大學建築研究所博士論文〈生活污水應用人工濕地處理及再利用之研究〉，民國 94 年 5 月，頁 2~11。

P ：沉降速率 ($\frac{m}{s}$)

k ：沉降速率常數

g ：重力常數 ($\frac{m}{s^2}$)

ρ_s 、 ρ_w ：懸浮顆粒、水層密度 ($\frac{g}{cm^3}$)

d_m ：懸浮顆粒直徑 (m)

η_T ：溫度 T 下之水層黏度 ($\frac{m^2}{s}$)

2.過濾(filtration)：進流水流經過濾基質間隙時，固體顆粒可有效被除去，在表面流式系統與地下流式系統中，分別受到植株密度與礫石間隙影響。

3.氧氣傳遞(oxygen transfer)：空氣中氧分子傳遞至水溶液的現象，可稱為暴氣(aeration)。透過此傳遞機制，可維持水中的溶氧(dissolve oxygen, DO)濃度，水中的溶氧另一主要來源為光合作用，植物進行光合作用後產生的氧氣自根系釋出，在水溶液或水生植物根部形成好氧環境，有利於微生物進行 BOD 分解的過程。

4.揮發(volatilization)：在進流水污染物中易揮發者，常見的包含揮發性有機化合物(volatile organic, VOC)及氨氮(NH_4-N)。在營區生活污水中 VOC 的含量並不高，而氨氮的揮發主要受到 pH 值影響，pH 值的增加，水中氨氮的揮發現象逐漸上升，在人工濕地系統中，藻類進行光合作用會伴隨 pH 值的增加，因此增加氨氮的揮發量。

(二)化學機制

1.化學沉澱(chemical precipitation)：進流水污染物中，可透過調整 pH 值，促使磷酸離子與其他金屬離子如鈣、鐵，分別在鹼性及酸性條件下形成難溶解之固體沉澱物，最終沉降於系統底部淤泥中，藉此除去磷離子。

2.吸附(adsorption)：在人工濕地系統中，吸附的機制如同污水處理廠中的生物床，係利用土壤、礫石及植物表面對污染物顆粒的鍵結作用而除去污染物的機制。

3.離子交換(ion exchange)：離子交換為固液相離子間可逆性的交換反應，在人工濕地系統中，植物組織細胞形成的腐質酸 (humic acid) 帶有羧基 (carboxyl group, $-COOH$)，可提供金屬離子交換。

(三)生物機制

1.有機質降解：異營性微生物 (如細菌、真菌) 利用溶解之有機物作為碳源，進行代謝分解，為自然系統中去除有機污染物之主要機制。包含好氧、厭氧及礦化作用。

2. **無機鹽氧化還原反應**：自營性微生物（如硝化菌、硫細菌、鐵細菌）利用二氧化碳或碳酸鹽作為碳源，以氧化無機鹽來獲取能量。在光合作用下以二氧化碳作為碳源，陽光作為驅動能量，將光能轉為化學能，釋放出氧分子供微生物分解及動植物呼吸作用。水生植物透過光合作用吸收水中無機鹽物質的過程，為去除氮、磷的重要機制。

二、系統型式

運用於水污染防治的人工濕地，按照水生植物之生長型態及濕地水流方向的不同，可分為表面流式系統 (free water surface, FWS) (以下簡稱 FWS 系統) 及地下流式系統 (subsurface flow, SSF) 兩種型態⁷或可依需求組合運用。

(一)表面流式系統

表面流式系統由水池、土壤、水生植物組成(如圖 1)，為模仿天然濕地之水文及環境所營造的人工濕地。此系統中常見的水生植物可分成四種⁸

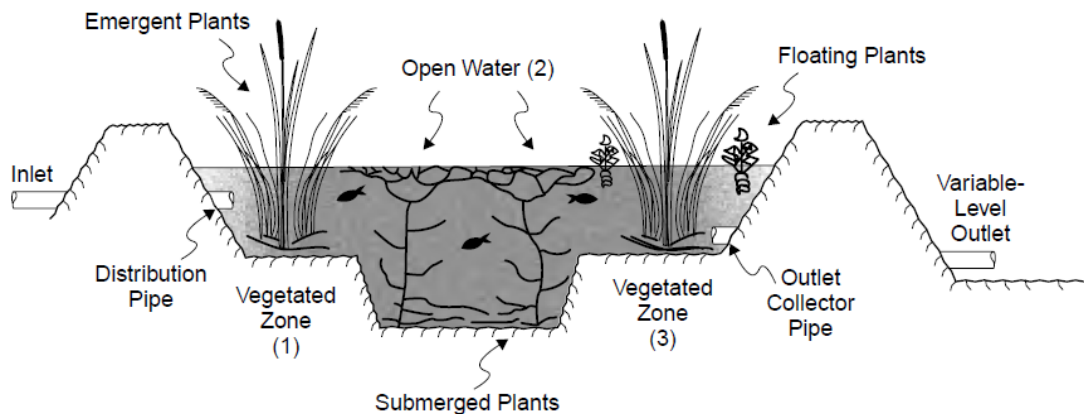
1. **挺水性植物(emergent plants)**：如蘆葦類、燈心草類、香蒲類、狼尾草類。
2. **浮水性植物(floating plants)**：如布袋蓮、浮萍、水芙蓉。
3. **著根浮水型植物(bottom-rooted floating plants)**：葉片為浮水型，根部著於底部淤泥中，如蓮花。
4. **沉水性植物(submerged plants)**：生存於水中具有溶氧之條件下，白天光合作用可消耗水中可溶性無機碳並增加溶氧，使 pH 值上升而利於氨氮揮發及磷的沉澱，亦有助於有機物的礦化作用，如水草類。

一般表面流式系統設計為淺槽窪地，底部鋪上一層不透水布，上方覆蓋約 20 公分土壤層，以提供水生植物著根用，並透過水位控制設備調整水位高低。進流水進入此系統後，在此窪地之水層自由流動，當污染物經過土壤層、水層與植物的根、莖接觸，產生物理性、化學性及生物性的作用後達淨化水質功能。表面流式系統多採用耐污染的挺水性水生植物，植物的莖葉貫穿水層，暴露於空氣中，植物的根則深入土壤層中，茂密錯節的根系提供了微生物較大的附著生長空間，空氣中的氧氣透過植株向下傳遞，提供氧氣給微生物利用，促進微生物分解污染物的功能。除了污染防治功能外，由於外觀接近天然濕地，表面流式系統可營造野生動物棲息地，亦具有動物保育及景觀美化上的功能。

7 美國環境保護署 U.S.EPA. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. 2000, pp. 25.

8 同註 6，頁 11。

圖 1 表面流式(FWS)系統概念圖

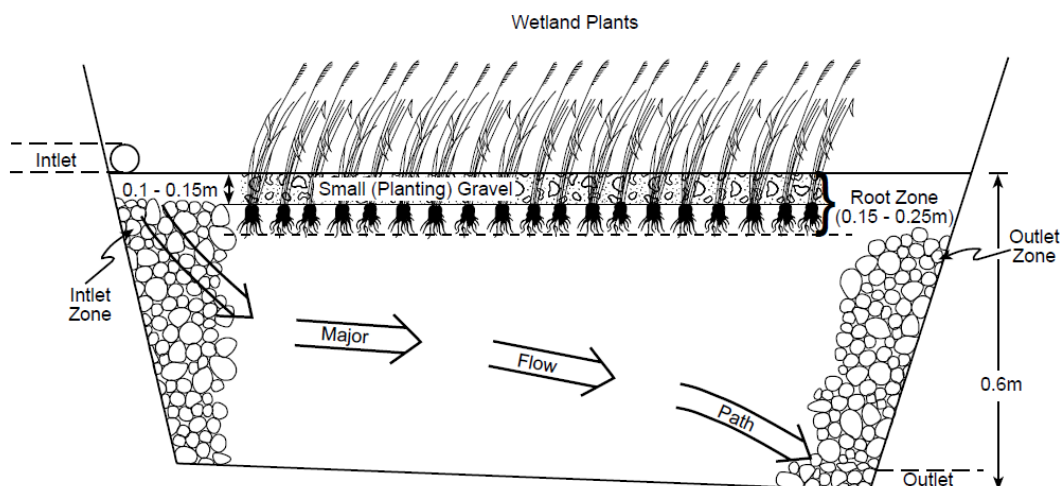


資料來源：Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, U.S.EPA, September 2000, p 29.

(二)地下流式系統

地下流式系統由溝渠、濾床、水生植物組成，此法是由根系區間法 (root-zone methods, RZM) 與蘆葦床處理系 (reed bed treatment system, RBTS) 技術演進而來 (如圖 2)。在溝渠中填入砂土、礫石或其他過濾基質作濾床，並種植挺水性水生植物。進流水進入此系統後，被迫在地面下這些過濾基質、根系及根莖系間流動，污染物與過濾基質表面、植物根系附著之微生物接觸，透過微生物之作用發揮其淨化功能。由於水層隱藏過濾基質下，可避免臭味及蚊蟲孳生。一般依據水流動方向又可分為水平流動型 (horizontal-flow system) 及垂直接流動型 (vertical-flow system) 兩種。

圖 2 地下流式(SSF)系統概念圖



資料來源：Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, U.S.EPA, September 2000, p 104.

在人工濕地型態中，FWS 系統主要作用為增加水中溶氧量，較 SSF 系統具有更好的表面暴氣作用及豐富的水生植物，可更有效處理有機物污染，

而有機物污染占國軍營區放流水不合格之最大比例，故優先以 FWS 系統規劃改善營區水質。

人工濕地設計-以金門營區為例

一、營區型式選擇

FWS 系統主要由水池、土壤、水生植物構成，透過植物及表面暴氣作用淨化水質，須要較大占地面積，故建議可使用於具有較廣大的腹地的郊區或離島營區，且現都市中生活污水多以污水下水道作收集處理，但對於位於偏遠之郊區、離島地區，建構相關污水接管工程上較不易執行且成本較高，因此施工規模較小、工程速度快的 FWS 系統為另一選擇。

而人工濕地淨化水質的能力在 BOD 處理上有較佳的效能，但其對於水質中油脂成分淨化能力有限，故建議用於 BOD 不合格但油脂合格之營區，以補強油水分離槽作業能量上的不足。

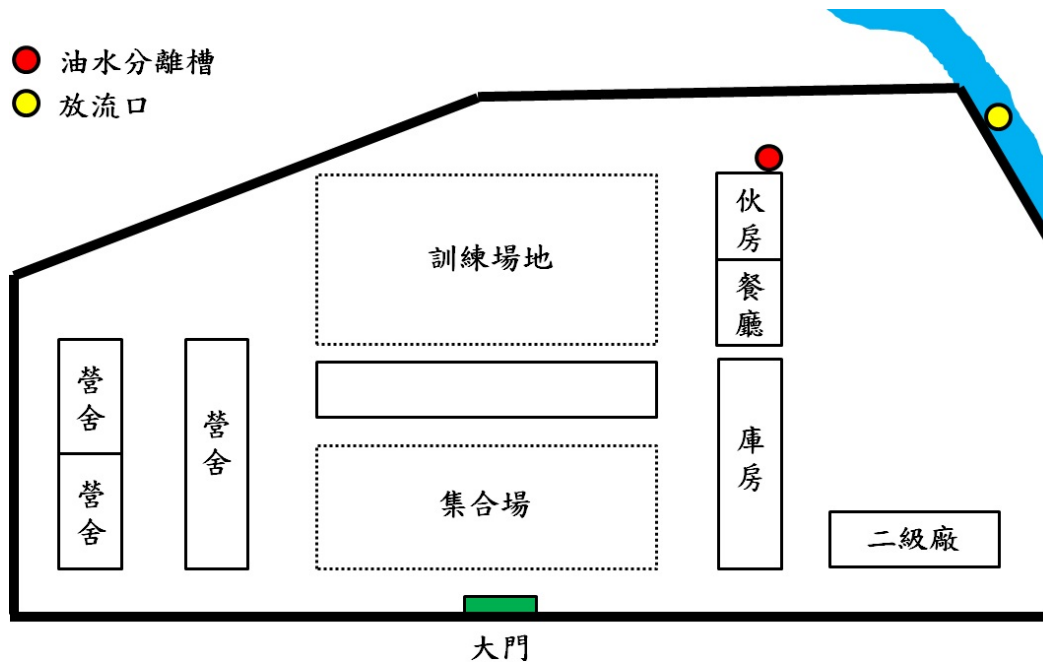
綜合上述考量，本研究就相關地理條件模擬一營區以作為人工濕地模型，該營區位於污水設施施工不易但具較大腹地之金門，駐地人數約為 150 人，伙房後方設有一單槽式油水分離槽，營區屬單一處放流口，該營區 BOD 值設定為 280 mg/L，遠大於管制值 50 mg/L，但油脂項目合格，顯示出該模擬營區改善措施除加強油水分離槽清洗，針對處理有機物污染須研擬其他作法，故本研究設計人工濕地，評估改善其 BOD 值之成效，相關背景設定資訊與示意圖如表 1 與圖 3 所示。

表 1 模擬營區之相關背景設定

位置	金門
編制	約 150 人營區
面積	250000 m ²
水質檢驗結果	BOD：280 mg/L
	油脂：8 mg/L
油水分離槽數量與型式	一個單槽式油水分離槽
放流口數量	一個

資料來源：作者繪製

圖 3 營區簡圖



資料來源：作者繪製

二、人工濕地設計⁹

本研究以 FWS 系統作營區改善設計，先建立一個人工濕地模型，並對水力學參數作部分假設，再透過進流水與放流水 BOD 之一階降解(first-order removal)速率，來估算所適用人工濕地的規模與型態。¹⁰

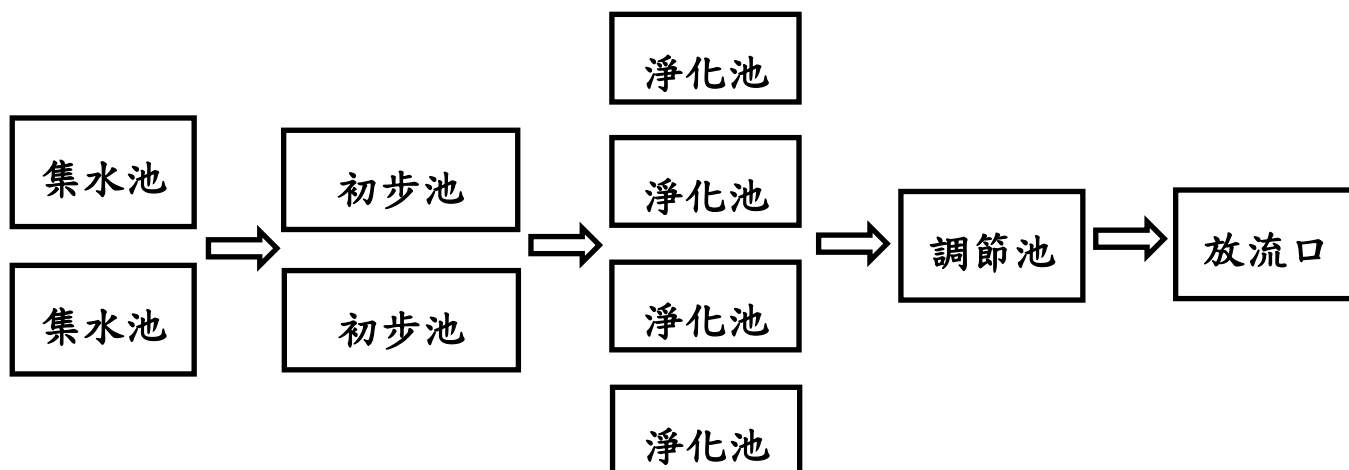
(一)FWS 系統單元組成

如圖 4 所示，FWS 系統主要單元由集水池、初步池及淨化池串聯組成，視進流量與蒸散量情形決定是否需要調節池，最後至放流口放流。

⁹ 同註 5，頁 58、59。

¹⁰ K. V. Ellis, P. C. Rodrigues, "Developments to the first-order, complete-mix design approach for stabilization ponds," Water Research, Vol 29, 1995, pp. 1343.

圖 4 FWS 系統單元



資料來源：作者繪製

(二)系統水量平衡

影響FWS系統水量平衡的因素包含進流水速率、放流水速率、沉降速率、蒸散速率。¹¹理想的設計是維持系統水量的恆定，人為可控制的因素包含進流水與放流水之速率，其他變因如沉降速率，須得知懸浮固體濃度並從 Stokes' law 作推算，蒸散速率可從氣象觀測資料作統計。

1.沉降速率(P)

若不考量懸浮固體濃度，沉降速率依據式 1，沉降速率常數 (k)、懸浮顆粒密度 (ρ_s)、懸浮顆粒直徑 (d_m)、20 °C 下水層黏度 (η_{20})，均參考文獻報導值作計算，以水深為 1.3 公尺之人工濕地為例，50 μm 懸浮固體在一天內即可完成沉降，因此在集水池設計上水力停留時間為 1 天。

$$\begin{aligned}
 P &= k \frac{g(\rho_s - \rho_w) \times d_m^2}{\rho_w \times \eta_{20}} \\
 &= \frac{1}{18} \frac{9.81 \times (1.01 - 1) \times (50 \times 10^{-6})^2}{1 \times (1.003 \times 10^{-6})} \\
 &= 1.4 \times 10^{-5} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \\
 &= 1.3 \left(\frac{\text{m}}{\text{day}} \right)
 \end{aligned}$$

2.蒸散速率(ET)

本研究之模擬營區位於金門，其氣候蒸散速率依據中央氣象局¹²於 93 至 96 及 104 年 1 月至 12 月期間，位於金門農業試驗所量測月平均蒸

11 同註 5，頁 16。

12 中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>，瀏覽日期：2017 年 5 月 22 日。

散量，統計結果如表 2。

蒸散量之量測方法，為放入固定水量於一直徑 120 公分，深度 25 公分之 A 型圓型蒸散皿 (class A pan)，一旁置有雨量杯，每日所量測之日蒸散量會將當日降雨量列入水量變化計算，再平均當月之日蒸散量即可得月平均蒸散量。

金門由於夏冬季蒸散量差異大，因此本研究將人工濕地系統分成枯水期與豐水期。表 2 中灰色區域界定為豐水期 (十一月至四月)，白色區域界定為枯水期 (五月至十月)，並分別計算枯水期與豐水期之月平均蒸散量值。枯水期間，月平均蒸散量為 89.4 mm/月，豐水期間，月平均蒸散量為 70.2 mm/月。

表 2 金門 93~96 及 104 年 1 月 12 月之月平均蒸散量 (mm/月)

年度 月份	93 年	94 年	95 年	96 年	104 年
一月	68.8	68.1	57.6	49.2	74.1
二月	66.1	73.4	66.9	55.4	48.4
三月	87.8	65.4	60.0	34.3	66.3
四月	78.0	92.8	61.1	56.0	81.6
五月	121.0	86.1	73.6	74.1	70.8
六月	147.6	94.8	81.5	31.4	87.1
七月	160.3	157.7	115.8	113.2	147.6
八月	138.2	121.0	118.0	70.6	140.1
九月	116.7	124.0	113.6	106.9	123.7
十月	134.2	118.1	125.4	113.6	127.4
十一月	98.6	95.6	75.4	85.5	85.7
十二月	79.6	84.8	66.7	66.6	74.6

資料來源：中央氣象局網站 (97~103 年資料從缺)

(三)從 BOD 之一階降解速率推得 FWS 系統各單元所需面積¹³

在文獻資料可知 BOD 之降解速率為一階動力學方程式，可表示為式 3。

式 3：

13 同註 5，頁 18。

$$\left[\frac{C_o}{C_i}\right] = e^{-K_T t}$$

C_i ：進流水 BOD 濃度 ($\frac{mg}{L}$)

C_o ：放流水 BOD 濃度 ($\frac{mg}{L}$)

K_T ：溫度相關反應速率常數 ($\frac{1}{day}$)

t ：水力停留時間 (day)

水力停留時間(t)與人工濕地總水量體積(V)及進放流水平均速率(Q)之間關係可表示為式 4。

式 4：

$$t = \frac{V}{Q}$$

然而在 FWS 系統中，若以截面積的角度來看進放流水的通過，水生植物本身的體積占據了部分的面積，影響進放流水平均速率，因此我們需將水生植物體積對進放流水通過之截面積占有率 (n)¹⁴ 列入考量，依據文獻 n 值估算為 0.75，而人工濕地總水量體積以人工濕地規模之長 (L)、寬 (W)、深 (d) 之乘積作代換，得式 5。

式 5：

$$t = \frac{Lwdn}{Q}$$

將式 5 代入式 3 中，等號兩邊對自然指數作微分：

$$\left[\frac{C_o}{C_i}\right] = e^{-K_T \frac{Lwdn}{Q}}$$
$$\ln \left[\frac{C_o}{C_i}\right] = -K_T \frac{Lwdn}{Q}$$

整理後可得式 6：

$$Q \times \frac{\ln C_i - \ln C_o}{K_T dn} = Lw = A_s \text{ (人工濕地表面積)}$$

(四)設計人工濕地

本研究設定營區駐地人數為 150 人，故每人每日生活污水製造量為 150 公升，營區放流水 BOD 為 280 mg/L，預劃排放之放流水經人工濕地處理後其 BOD 值小於 10 mg/L，人工濕地之進放流水之平均流量值為 20 m³/day。首先我們計算營區每日所產生的生活污水量為：

14 同註 5，頁 18。

$$150 \frac{L}{day} \times 150 = 22500 \frac{L}{day} = 22.5 \frac{m^3}{day}$$

人工濕地總水量對 BOD 的乘載可透過進流水 BOD 及進放流水平均流量作估計：

$$280 \frac{mg}{L} \times 20 \frac{m^3}{day} \times 10^3 \frac{L}{m^3} \times \frac{kg}{10^6 mg} = 5.6 \frac{kg}{day}$$

文獻報導以布袋蓮(water hyacinth)為主的 FWS 系統¹⁵，針對不同進流水的條件，都有對應的設計型態。在初步池處理進流水的部分，由於其 BOD 值較高，人工濕地須要較大的 BOD 乘載量，因此選用第一類的設計型態，以達預期淨化之效果，而在淨化池處理進流水的部分，由於已經過初步池的初步處理，我們可選用第二類設計型態。

1.集水池

如進流水為餐廳廢水，先經伙房油水分離槽將油脂去除後，始可引導放流水流入指揮所後方集水池。依據文獻，集水池建議的水力停留時間為 10 日，因此在集水池的設計上至少須能容納 10 日以上的進流水。

集水池功能：調整污水濃度及流量，與去除可沉澱固體物。

集水池規格：15 m (長) × 15 m (寬) × 1.3 m (深) × 2

2.初步池

將營區 BOD 乘載量的計算結果，可得到所需要的初步池與淨化池總面積，將底部淤泥堆積列入考量，水深設計為 1 公尺。

初步池功能：

使放流水 BOD 值小於 30 mg/L，已達放流水標準。

初步池與淨化池總面積：

$$5.6 \frac{kg}{day} \div 40 \frac{kg}{day \times 公頃} = 0.14 公頃 = 1400 m^2$$

初步池：

$$5.6 \frac{kg}{day} \div 80 \frac{kg}{day \times 公頃} = 0.07 公頃 = 700 m^2$$

初步池分成兩槽，規格如下：

15 同註 5，頁 53。

$$35 \text{ m (長)} \times 10 \text{ m (寬)} \times 1.3 \text{ m (深)} \times 2$$

3.淨化池

為承接初步池之放流水作二次淨化，水力停留時間 6 天。

淨化池功能：使放流水 BOD 值小於 10 mg/L，可回收作戰備訓練用水。

$$\text{淨化池面積：} 1400 \text{ m}^2 - 700 \text{ m}^2 = 700 \text{ m}^2$$

淨化池分成四槽，規格如下：22 m (長) × 8 m (寬) × 1.3 m (深) × 4

經過初步池及淨化池處理後，流入調節池。調節池之作用為調節枯水期與豐水期間人工濕地之總水量，進而評估調節池所需要的大小。在大面積水域蒸散量的估算上，通常以 A 型圓型蒸散皿所量測之月平均蒸散量 (mm)，乘上 A 型圓型蒸散皿係數及水域表面積 (mm^2)，即可推得水域之月平均蒸散量，A 型圓型蒸散皿係數以 0.8 作計算。

人工濕地枯水期之蒸散量為：

$$89.4 \frac{\text{mm}}{\text{month}} \times 1400 \times 10^6 \text{ mm}^2 \times 0.8 = 100 \frac{\text{m}^3}{\text{month}}$$

人工濕地豐水期之蒸散量為：

$$70.4 \frac{\text{mm}}{\text{month}} \times 1400 \times 10^6 \text{ mm}^2 \times 0.8 = 80 \frac{\text{m}^3}{\text{month}}$$

人工濕地每月進流水總量為：

$$22.5 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} \times 30 \frac{\text{day}}{\text{month}} = 675 \frac{\text{m}^3}{\text{month}}$$

人工濕地年度淨水量為：

$$(675 - 100) \times 6 + (675 - 80) \times 6 = 6756 \frac{\text{m}^3}{\text{year}}$$

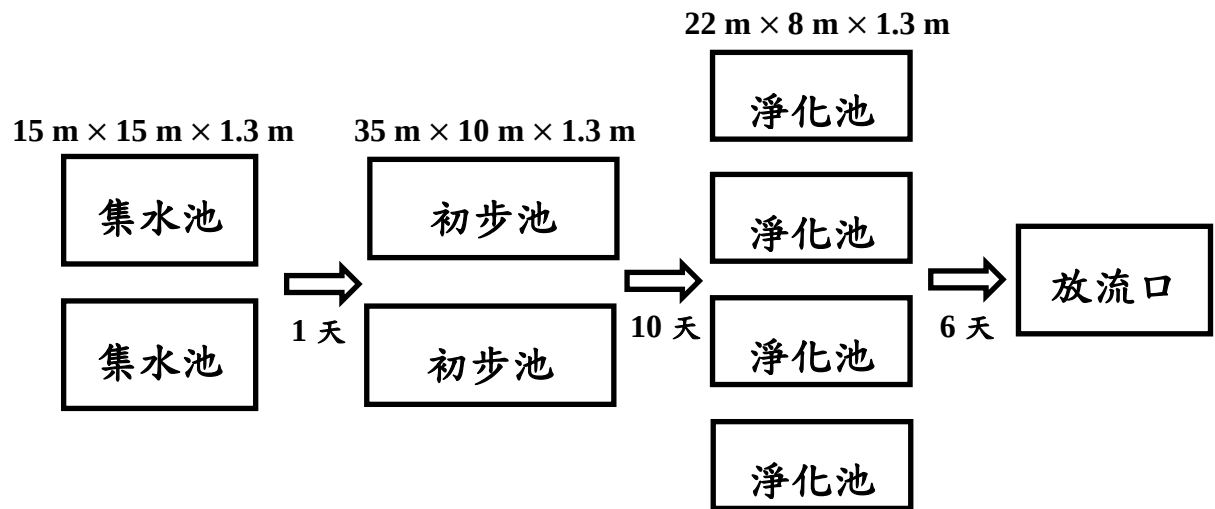
4.調節池

年度淨水量計算結果為正值，顯示出即使經過蒸散量較多的月份，以 1400 m^2 面積的人工濕地而言並不會有水量匱乏的問題，因此無須額外增設調節池。

5.營區人工濕地整體規劃

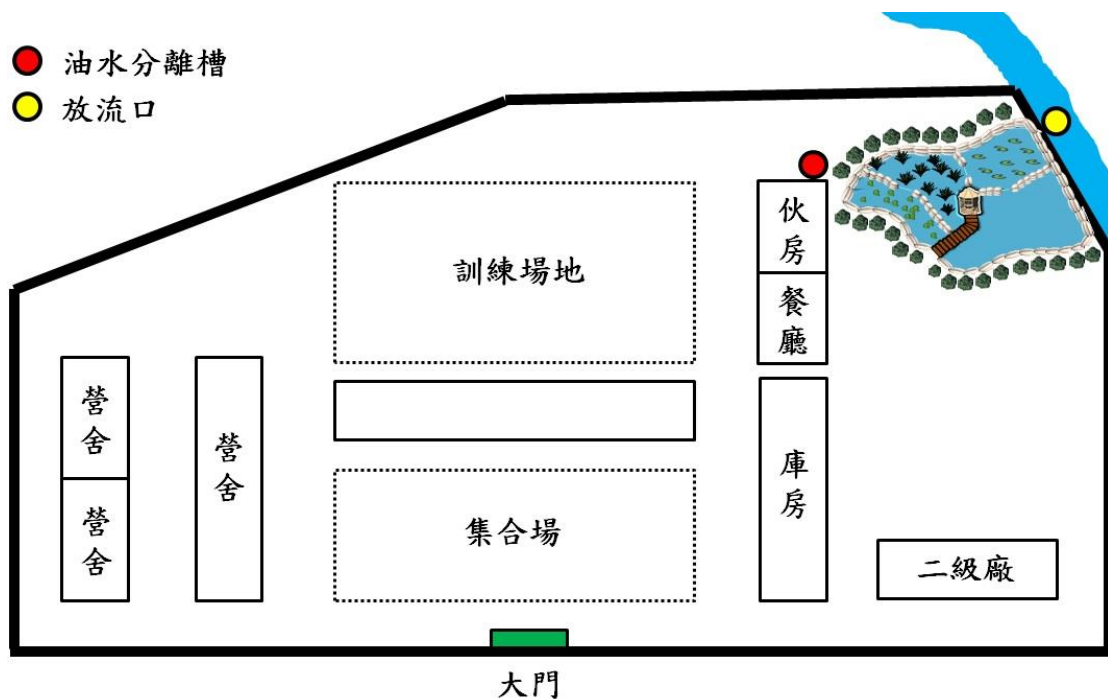
集水池及 FWS 系統各單元規格與水力停留時間如圖 5 所示，所須占地總面積約為 2000 m^2 。人工濕地配置示意圖如圖 6 所示，FWS 系統各單元可依放流口位置設置於營區適當空地。

圖 5 人工濕地整體規劃



資料來源：作者整理

圖 6 人工濕地配置示意圖



資料來源：作者整理

結語

本研究以 BOD 不合格之模擬營區為例，提出以人工濕地淨化放流水質規劃，透過設計 FWS 系統之人工濕地，以改善營區 BOD，因 BOD 與 COD 值具相關性，BOD 值降低，COD 值亦會同步降低，經設計含括集水池、初步池、淨化池單元串聯組成之人工濕地，提供營區放流水水質改善解決建議，另人工濕地結合營區造景工程統一規劃，亦可達成放流水改善及營區綠化供官兵休憩。

參考文獻

一、書籍：

- (一)美國環境保護署U.S.EPA. Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment. 1988.。
- (二)美國環境保護署U.S.EPA. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. 2000.
- (三)美國環境保護署U.S.EPA. A Handbook of Constructed Wetlands. 1993.
- (四)歐文生，國立成功大學建築研究所博士論文〈生活污水應用人工濕地處理及再利用之研究〉，民國94年5月。

二、報刊：

- (一)Amelia K. Kivaisi, “The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review,” Ecological Engineering, Vol 16, 2001, p. 545~560.
- (二)K. V. Ellis , P. C. Rodrigues , “Developments to the first-order, complete-mix design approach for stabilization ponds,” Water Research, Vol 29, 1995, p.1343~1351.

三、網路：

- (一)行政院環境保護署，<http://www.epa.gov.tw/mp.asp?mp=epa>，瀏覽日期：2017年5月22日。
- (二)Ramsar Convention on Wetlands，<http://www.ramsar.org/>，瀏覽日期：2017年5月22日。
- (三)中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>，瀏覽日期：2017年5月22日。