利用生態技術的水質淨化方法介紹

-混合型人工濕地淨化法、湖內湖淨化法與人工浮島淨化法-

陳賜賢/淡江大學水環系兼任講師；臺灣省水利技師公會榮譽理事長

摘要

利用自然淨化功能之生態技術來淨化水質的各種方法，正受到廣泛的關注，對此世界各國展開了各種研究，臺灣目前在水域及河川高灘地等地區亦積極展開推廣。本文介紹日本目前常使用的三種方法，都是利用生態方法的具體淨化技術。包括(一)混合型人工濕地法:適合於都市使用的小規模水生植物淨化法，利用表面水流通過改爲潛流型，可以進行脫氮處理。設施規模也只相當於現有設施的 1/3 到 1/10 左右。(二) 湖內湖淨化法:防止已經污染的河川流入湖泊的淨化設施法，通常建在河口的淨化設施，其功能不僅可以淨化水質，還可以使沿岸恢復多樣化景觀，據相關文獻報告，可望達到去除 COD44.3%、磷 46.5%的淨化效果。另外，由於水質污染優養化等環境生態問題逐漸被重視。因此有關人工浮島發展開始應用，即(三) 人工浮島淨化法:用來作封閉型水域如水庫、湖泊之水質淨化方法，並創造生態環境功能，被視爲可能發展之技術而加以重視。然而，人工浮島亦有其困難點，如自然波力、浮體移動等控制及其淨化效果之定量的掌握有其困難度，唯無論如何人工浮島對生態棲息地及水質淨化皆有其一定效率。

Keywords: ecotechnology, compact wetland, artificial lagoon, lake restoration，artificial floating island

一、生態技術和水質淨化

首次提出生態技術或生態工程（Ecological Engineering）一詞的是H.T 奧德姆（H.T Odum）（1962）。但此名詞被世人所知是由於米奇（Mitsch, W.J）和Jorgensen, S.E 於1989年編著的《生態工程、生態技術入門)一書發揚。書中對生態工程下的定義是『建立自然環境與人類共存共榮的人類社會』。這一定義的範圍極廣，但生態技術論文集《Ecological Engineering》指出，其主要課題是以濕地淨化法爲中心的利用自然體系的淨化技術。因此，目前的生態工程學術研究領域主要是以利用自然淨化技術的淨化體系和自然生態功能的水質淨化功能爲物件進行研究。

水質淨化領域今後將會出現高科技和低科技的兩極化分。隨著科學的進步，各種高科技技術將會應用於水質淨化，但21 世紀的水質淨化最爲重要的是傳統技術，這種說法也可能與時代發展相拂逆。其理念爲建設管理簡單、成本低廉、符合自然原理的技術，即生態技術是低科技的代表性標準。這一技術對於人口增加、資金不足的發展中國家來說，是重要的淨化方法。而對於已發展國家來說，在淨化河流和湖泊濕地等水量大、水質變化大的自然水體時，利用此生態技術比起價格高昂的高科技也更加合適。生態技術不僅要利用自然淨化作用，還必須對環保達到積極作用，同時還要

將其納入到生態體系中。借助米奇等的理論，需要確立溶入自然(“A Part of ,Not Apart from Nature” :不是分離獨立於自然之外，而是成爲其中一部分)的技術。在此介紹日本的生態技術實例，都市型濕地淨化設備“小型人工濕地”和湖泊的面源污染治理技術“湖內湖淨化法”與人工浮島淨化法。

二、濕地淨化的現況

濕地淨化法(Constructed wetland)是指對流經濕地的被污染的水進行淨化的方法，由於這種方法簡單、價廉，常作爲運用生態技術處理水的方法，廣泛應用於以歐美爲中心的許多國家。濕地淨化法通常需要大面積的土地，因此日本使用的不多，但最近利用自然淨化作用的生態技術專案有所增加。濕地淨化法一般使用蘆葦和香蒲等水生植物。水的流動方式有濕地表面流動的表面流方式與利用礫石和沙子代替濕地的土壤進行滲透淨化的潛流方式。潛流方式又分爲連續水準流動的水準流方式和間歇垂直流動的垂直流方式。

表面流方式始於70 年代的北美，最大的濕地淨化設施有1000ha 以上。潛流方式是德國人Seidel 於60 年代至80 年代研究發明的。之後在英國和丹麥獲得了廣泛的使用。垂直流方式的基本構思來自於Seidel 等人，但從90 年代才開始正式研究。目前，上述方式的混合型濕地淨化正在不斷增加。

在國外，濕地淨化法用於各種目的。進水來源除了有污水管道的二級處理水、三級處理水、生活污水、畜產養殖廢水、產業廢水、礦業廢水等外，還有初期雨水。歐洲和美國利用濕地淨化法建設了許多設施，僅英國據說就有大約700 座相關設施。近年來，東歐、東南亞、中東、非洲、日本等地也陸續修建了這樣的設施，台灣在濕地淨化法的知識和經驗方面與這些國家相比，還處於較落後的水準。

日本利用濕地淨化法修建的設施不多，依據日本河川環境管理財團的調查結果顯示，1999 年只有39 個設施。但從90 年代後期開始建設了許多這類設施。

在國外，濕地淨化法的進水多爲生活污水和污水處理後之放流水，而日本主要是以被污染的河流和湖泊爲對象。表1 是歐美和日本濕地淨化法的表面流方式比較。與歐美的項目相比，日本除了具有『面積小』、『水量大』、『水質濃度低』的特點外，一般情況下還有『泥沙等無機成分多』等特點，此特性與臺灣相似，因此其相關技術值得台灣參考。由於日本的濕地淨化法只推廣了礫石間接觸法等“河流直接淨化”的方法。在國外潛流方式不斷增加，而臺灣與日本基本上都是採表面流方式。

表1 濕地淨化法:日本和歐美的比較

(資料來源整理自參考文獻)

	日本	歐美
平均面積 (m^2)	1,200	390,000
水面積負荷 ($mday^{-1}$)	0.440	0.029
總氮進水水質 (mgL^{-1})	2.9	11.9
總磷進水水質 (mgL^{-1})	0.17	4.10

三、混合型人工濕地－都市型濕地淨化法－

混合型人工濕地是適宜於都市使用的占地小的濕地淨化法。爲了節省占地面積，做了下列三項研究。(1) 與前處理設施相結合；(2)潛流型；(3)使用空隙率高的過濾材料。

混合型人工濕地與過去的機械化水質淨化法和濕地淨化法(表面流)相比，具有表2 中顯示的特點。混合型人工濕地的驗證試驗於1997 年8 月至1999 年1 月在日本渡良瀨蓄洪池實施，對現有的表面流型、用礫石做過濾材料的潛流（礫石）型以及比礫石空隙率高、可節省面積的人工介質做過濾材料的潛流(人工介質）型的三個類型進行了比較。三個類型的規格如表3 所示，示意圖如圖1 所示。

調查結果顯示，潛流型與現有的表面流型

相比具有很好的淨化效果。特別是潛流型對於懸浮顆粒物（SS）、透視度有明顯的改善效果。另外，滲透過程中會發生脫氮現象，因此除氮效果好。潛流型與表面流型相比，只在10 分之1（大腸桿菌、夏季的硝酸）到1/3（BOD、氮、chl.a）的面積進行處理就可達到相同的淨化功能，確認了混合型濕地淨化方法的有效性。該試驗中，不同的過濾材料（人工介質和礫石）基本上沒有差別。

表 2 混合型人工濕地和其他系統的比較

(資料來源整理自參考文獻)

	現有的淨化体系	現有的濕地淨化法	混合型人工濕地
單位面積的去除量	◎	×	○
所需面積	◎	×	○
對生態系統的貢獻	×	◎	○
景觀	×	◎	◎

表3 試驗設施的規格

(資料來源整理自參考文獻)

濕地類型	尺寸（m）縱×橫	水深（m）	填充的過濾材料	空隙率	實測滯留時間(hr)	水面積負荷(m/day)
潛流（礫石）	12.5L×4W	0.60	礫石 φ20－40mm	0.45	4.8	1.2
潛流（人工介質）	12.5L×4W	0.60	聚氯乙烯+亞氯乙烯	0.95	6.2	1.2
表面流	12.5L×4W	0.10	當地的土	—	1.6	1.2

圖2 混合型人工濕地的淨化效果

(資料來源整理自參考文獻)

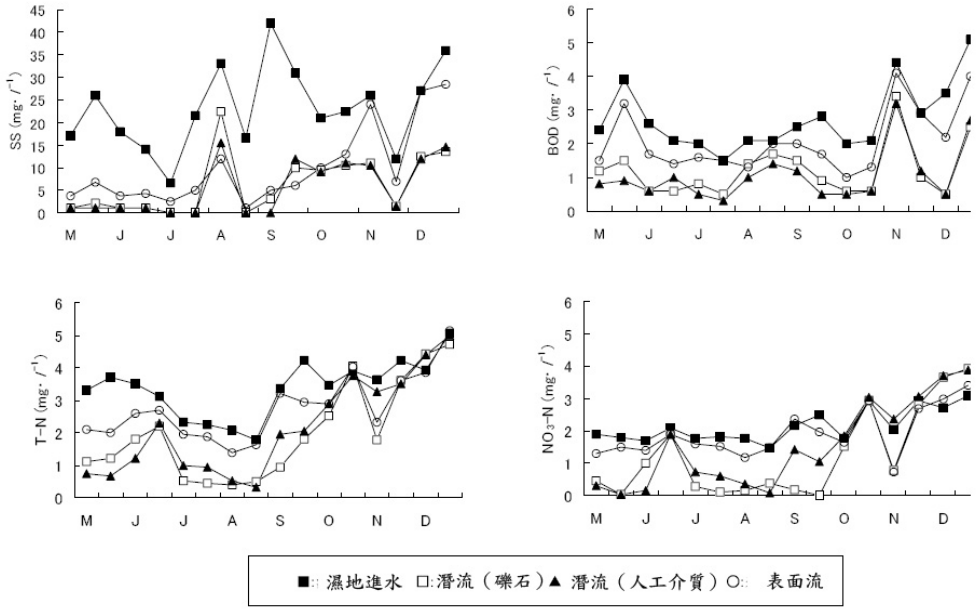
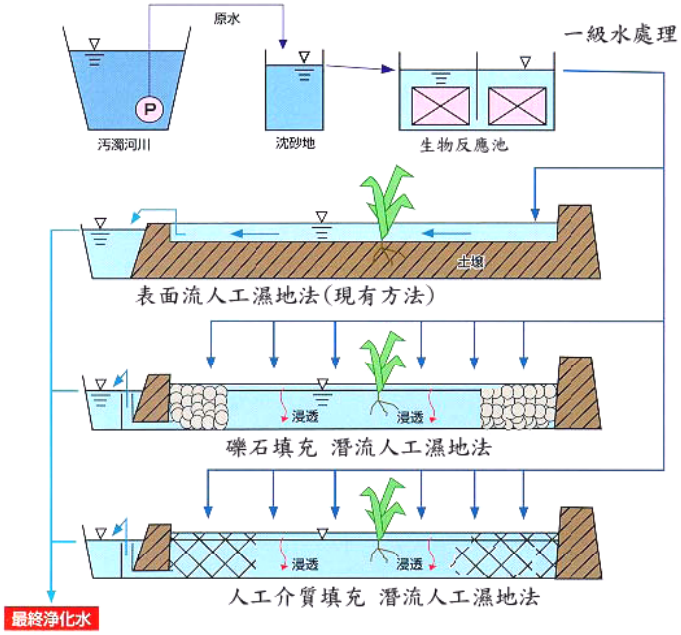


圖1 試驗設施概要

(資料來源整理自參考文獻)



四、解決面源污染的湖內湖淨化法－

有一種湖叫內湖(或稱瀉湖)。內湖是分佈於日本琵琶湖周圍的眾多小湖，形成內湖的原因大多是由於長年沖積造成湖岸邊的部分水域與湖水分離，即瀉湖的形成。另外還有舊河床和填海等人工形成的。內湖做爲陸地和水域的緩衝地帶，對淨化水質和保護生物多樣性具有很大的作用。由於湖邊圍墾和開發，失去了很多內湖，但在日本對琵琶湖開始採取保護措施，恢復部分內湖。

湖內湖淨化法是用人工的方式再現內湖所擁有的淨化作用和生態功能的方法，即人工內湖淨化法。據日本相關資料顯示，流入霞浦的支流河口設置湖內湖，在水邊去除來自於河流的面源污染。在霞浦的岸上開鑿內湖比較困難，因此在湖內建了內湖，取名湖內湖。湖內湖設在流入霞浦的川尻川河口（照片1）。由於家庭污水和農業污水都排到川尻川中，因此通常的水質是COD Mn 9.3 mg/L、總氮2.9 mg/L、總磷0.25 mg/L。人工內湖的結構設計是出水時的高峰流量爲6 m3/s（相當於70mm 的降雨），總磷去除率爲50%左右。湖內湖的標準如表4 所示。湖內湖由河口附近的堆泥池和一般沉澱池構成，基本的淨化結構是沉澱。

1999 年11 月至2000 年11 月調查時的湖內湖淨化效果如表5 所示。這裏的流入負荷包括河流平常情況和洪水期兩部分，年堆積量包括來自於河流和湖泊的堆積。也就是說此處的去除量是湖內湖一年的新堆積物質除以流入負荷量得出的。沒有計算湖內湖的分解和脫氮等。

根據以往的調查，流入負荷中40%的COD、磷都是被湖內湖削減的。另外，氮的值很低，主要原因是沒有將脫氮計算在內，而實際去除率基本相同。湖內湖每年都堆積泥沙，每隔幾年就需要進行一次泥沙疏浚。2003 年也進行了湖內湖的疏浚。

(資料來源整理自參考文獻)

照片1 湖內湖全景（日本霞浦、川尻川河口）

表4 湖內湖的標準

(資料來源整理自參考文獻)

水深	1.0m (堆泥池 2.0 m)
容量	30,000 m3
面積	30,000 m2
沿岸方向的長度	350 m
進湖深度	60-100 m

表 5 湖內湖淨化法的效果（1999 年 11 月～2000 年 11 月）

(資料來源整理自參考文獻)

	年流入負荷量 (kg/year)	年堆積量 (kg/year)		年去除率 (%)
		整個湖內湖	堆泥池部分	
COD_{Mn}	35,872	15,890	8,680	44.3
T-N	6,568	1,270	660	19.3
T-P	1,656	770	420	46.5

五、利用人工浮島作爲水庫湖泊水質淨化方式介紹

「浮島」一般來說通常爲湖泊或水庫內經年累月自然淤積所形成之沙洲衍變而成，如最近新聞所述之日月潭水庫，因淤泥層堆積自然衍化，而後原生植生隨水流依附於其中，形成島嶼或沙洲在水中漂移自然現象。此處所介紹之浮島，屬人工浮体構造物，其上部並植栽水生植物(如圖 3)。目前，人工浮島(the artificial floating island)之發展已被廣泛應用於封閉之湖泊、水庫大型蓄水池等方面作爲包括水質淨化、生態棲息空間、消波、景觀多功能之生態環境技術應用。

圖 3 人工浮島　（日本霞ヶ浦　土浦港:　約 1000m^3）

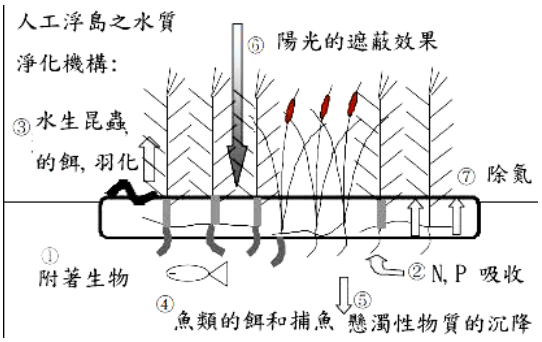
資料來源: 中村圭吾, 島谷幸宏 (1999):人工浮島の機能と技術の現状, 土木技術資料, Vol.41, NO.7, pp. 26-31

有關利用人工浮島作爲水域生態環境保育技術之應用，約於 25 年前由德國之貝斯多瑪公司最早發展。日本在 70 年代之琵琶湖，亦利用此相關技術作爲魚類用之浮動產卵床。

依日本相關文獻指出，在霞浦設置 1 個 5m 的隔離水域,並且用此水域 C 跟設置人工浮島的水域(水域 A,B)比較。發現人工浮岛與自然的水生植物带同樣的能於夏季發揮抑制植物浮游生物的藻類繁殖效果。

圖 4：人工浮島水質淨化機構

(資料來源整理自參考文獻)



結論

以上對河流、湖泊、水庫水質淨化技術的新趨勢——利用生態技術的混合型人工濕地、湖內湖淨化法及人工浮島等淨化技術做了介紹。其附帶功能可規納如下:1.增加鳥類及魚類等生態的棲息場所 2.達到水質淨化功能 3.沿岸消波效果的保護 4.景觀效果及環境生態提昇。此處介紹的混合型人工濕地是由日本建設省土木研究所（過去的名稱）、(財)土木研究中心、(株)大阪防水建設社、(株)奧村組、鹿島建設(株)、(株)加藤建設、kanatsu 技研工業(株)、(株)協和 EXEO、(株)熊穀組、三信建設工業(株)、新日本制鐵(株)、日特建設(株)、日本建鐵(株)聯合研究（H7-H10）開發的技術。

參考文獻

1. 中村圭吾、森川敏成、岛谷幸宏（2000）:利用设置在河口的人工内湖控制污染负荷，环境体系研究论文集，Vol. 28, pp.115-123.

2. 中村圭吾、三木理、岛谷幸宏（2001）：实物规模潜流方式湿地净化法的开发及其评估，土木学会论文集，No.678／Ⅶ-19，pp.81-92

3. 中山嘉文(1986)：浮産卵礁の開発について,（社）全国沿岸漁業振興開発協会, 中央講習会資料, pp.185-192.

4. 石居宏志(1995)：霞ヶ浦緑の浮島実験について, 第 6 回世界湖沼会議　霞ヶ浦’95, 論文集 Vol. 1, S-1-6-2, 1995.

5. Song, X et al.(1995) : Bio-production and water cleaning by plant grown with floating culture system. , 第 6 回世界湖沼会議　霞ヶ浦’95, 論文集 Vol. 1, pp.426-427.

6. Nakamura, K., Shimatani, Y. et al.(1995): The ecosystem of an artificial vegetated island, Ukishima, in Lake Kasumigaura, 第 6 回世界湖沼会議　霞ヶ浦’95, 論文集 Vol. 1, pp.406-409.

7. 中村圭吾, 島谷幸宏 (1999):人工浮島の機能と技術の現状, 土木技術資料, Vol.41, NO.7, pp. 26-31.

8. (財)ダム水源地環境整備センター（１９９９）: 人工浮島シンポジウム講演集・

9. (財) ダム水源地環境整備センター（１９９９）： 第 2 回　人工浮島シンポジウム講演集・

10. 人工浮島研究会，(財)ダム水源地環境整備センター（2000）： 人工浮島設置の手引き（案），第 2 回人工浮島シンポジウム講演資料・

11. (社)韓国環境復元緑化技術学会，江原大学校生物多様性研究所（2001）：国際シンポジウム発表論文集：湖水沿岸復元と人工植物島（韓国語資料）・

12. Boutwell, J. E.(1995): Preliminary field studies using vegetated floating platforms, National Biological Service (NBS).

13. Mueller, G., Sartoris, J., Nakamura, K., Boutwell, J.(1996): Ukishima, floating islands, or schwimmkampen ?, LAKELINE, November, pp18-19, p.26.

14. John E. Boutwell, John Hutchings(1999): Nutrient Uptake Research Using Vegetated Floating Platforms Las Vegas Wash Delta Lake mead national Recreation Area Lake Mead, Nevada, Technical Service Center, Denver, Colorado, Technical memorandum No.8220-99-03, U.S. Department of Interior, Bereau of Reclamation.

15. 百瀬浩, 舟久保敏, 木部直美, 中村圭吾, 藤原宣夫, 田中隆(1998)： 水鳥類による各種植栽浮島の利用状況, 環境システム研究, Vol. 26, pp. 45-53.

16. （財）ダム水源地環境整備センター(1997)： 浮島研究会資料, 1997.

17. 月刊グリーンビジネス(1999): 特集　浮島 No.443, pp. 8-17.

18. Nakamura, K., Tsukidate, M., Shimatani, Y.(1996): Characteristic of ecosystem of an artificial vegetated floating island, Ecosystems and Sustainable Development, pp.171-181.

19. 中村圭吾･保持尚志･島谷幸宏(1995)：人工浮島（霞ヶ浦　土浦港）の効果とその生態系, 河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, pp.155-159・

20. 玉木和之，島谷幸宏ら(1998)： 糸状生物担体の生物生息空間としての効果, 土木学会年次学術講演会概要集,

21. 阿部學(1996)：機能的ダムから環境創造ダムへ－水鳥のための人工浮島－, 電力土木, No. 264, pp.3-10.

22. Girouz, J-F.(1981): Use of artificial islands by nesting waterfowl in southeastern Alberta. J. WILDL. MANAGE. 45(3), pp.669-679.

23. Getz, V.K. and Smith, J. R.(1989): Waterfowl production on artificial islands in mountain meadows reservoir, California, Calif. Fish and Game 75(3), pp.132-140.

24. Hiraoka, T.(1996): Utilization of artificial floating objects as nest platforms by little Grebes and Eurasian Coots in Lake Teganuma, Central Japan. J. Yamashina Inst. Ornithol. 28, pp.108-112.

25. 寺園勝二, 石居宏志, 粟津一雄(1996)：緑の人工浮島実験について, ダム技術, No.　120, pp.35-42, 1996.

26. Nakamura, K. and Shimatani, Y.(1997): WATER PURIFICATION AND ENVIRONMENTAL ENHANCEMENT BY THE FLOATING WETLAND, Proc. of 6th IAWQ Asia-Pacific Regional Conference in Korea, p.888-895.

27. 大島秀則，唐沢潔，中村圭吾（2001）：人工浮島による水質浄化実験，日本水環境学会年会講演集, 日本水環境学会年会講演集, Vol.35th，p.１４６・

28. 中村圭吾ら(1999) ： 消波浮島による湖岸植生帯の保全，日本水環境学会年会講演集, ＶＯＬ・33dr， p・122.

29. 中村圭吾（1999）：霞ケ浦におけるヨシの人工浮島の研究，ヨシに関する国際ワークショップ，関西自然保護機構会報, 21(2)，pp.245-255.

30. Phil Rieger(1998): Construction of Floating Wetland Platforms in Michigamme Reservoir, paper presented at the North American Lake Management Society Banff Symposium, November 10-13.

31. Lakatos, Gyula, Kiss, Magdolna K., Kiss, Marianna, and Juhasz, Peter(1997): Application of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Hungary, Water Science and Technology Vol. 35 No 5, p. 331-336.

32. 佐藤明久，伊原如子（2000）：　ユニット式人工浮島の計画・施工について，月刊　ダム日本，No.670, 8 月，p.55-67.