

石門水庫蓄水範圍保護帶劃設之研究

Designation of Buffer Zone for Reservoir Conservation — Case Study of the Shimen Reservoir

逢甲大學

水利工程與資源保育學系
研究生

翁 儷 容

Li-Jung Weng

逢甲大學

水利工程與資源保育學系
副教授

許 盈 松*

Ying-Sung Hsu

逢甲大學

水利工程與資源保育學系
助理教授

張 嘉 玲

Chia-Ling Chang

逢甲大學

土木工程學系
教授

李 秉 乾

Bing-Jean Lee

經濟部水利署

北區水資源局
工程員

陳 敬 慈

Ching-Tzu Chen

摘 要

本文探討水庫蓄水範圍保護帶之劃設，考量植生保護帶設置後之泥砂懸浮固體削減率及設置益本比兩項指標，以研擬合理之保護帶寬度。考慮石門水庫蓄水周邊之土地條件與使用現況，利用地理資訊系統輔助分析土地利用形態，以推估水庫周邊現況之非點源污染潛量，同時評估保護帶設置後之污染削減率及益本比，以訂定出合理之保護帶寬度。研究顯示石門水庫周邊區塊之平均坡度條件為 54.05%時，植生保護帶對懸浮固體物的削減效果一般均可達到 60%以上，考量經濟效益的益本比與污染削減率兩者兼具之合理性，可視 30 公尺寬度為較佳方案；若不考慮益本比，則可視水庫周邊土地之土地權屬、水質、地質、植被及坡度等因子，適度擴增保護帶寬度，以增加污染削減率與水土保育功能。

關鍵詞：水庫，泥砂懸浮固體，保護帶，地理資訊系統。

*通訊作者，逢甲大學水利工程與資源保育學系副教授，40724 台中市西屯區文華路 100 號，yhsu@fcu.edu.tw

ABSTRACT

This study undertakes to design a buffer zone for the purpose of protecting water quality of reservoirs. By using two basic principles: reduction rate of suspended sediment from the vegetation area of the buffer zone, and cost-benefit ratio of the construction, the study aims to arrive at a reasonable width for the buffer zone. Our research approach taken at the Shimen Reservoir included soil characterization and land-use classification identification that is aided by GIS to develop potential location and extent of non-point sources pollution around the reservoir, and assessing the rate of contamination reduction as a result of buffer zone and its cost-benefit ratio. At the same time, the width of the buffer zone is determined with the analysis performed. The study shows the average condition for the Shimen Reservoir is: when the surface slope of the hill is around 54.05%, the buffer zone could have over 60% reduction effect in suspended sediment. Taking into consideration both the economic factor of cost efficiency and sediment reduction, the best design for the buffer zone is that of 30 meter in width. If, however, we choose to disregard the cost and benefit factor, the width of the buffer zone can be increased where it is reasonable, depending on the factors such as property rights, water quality, geology, vegetation cover, and surface gradient, to enhance its effect in contamination reduction and water conservancy.

Keywords: Reservoir, suspended solid, buffer zone, geographic information system.

一、前言

台灣地區河川集水面積狹小、流短坡陡及豐枯流量懸殊，水庫蓄水成為台灣水資源的主要命脈，供應灌溉、民生及工業用水之所需，為能確保有安全穩定之水資源，涵養保育水庫集水區及水庫蓄水範圍成為主要的課題。惟既有水庫庫容有限，新建水庫又有許多主客觀條件上之困難，故如何經營保育現有水庫水源且維持有效庫容，成為台灣水資源經營上最重要之工作。除集水區污染源應有適當管制措施外，透過整體集水區管理及集水區保護帶之規劃，推動整合性的保育管理策略以達到泥砂及非點源污染濾除之效能，又可透過造林工作涵養水源，維護集水區生態環境。台灣目前水庫保護帶之設置，係依據「水土保持法」及「水庫蓄水範圍使用管理辦法」第三條等法規管理規範。水庫保護帶具有過濾泥砂、農藥及肥料等非點源污染物，減緩水庫水質惡化，及減緩逕流沖蝕等功能，為集水區防制非

點源污染的有效方法之一。然在保護帶寬度的規劃訂定上，寬度不足則無法達到預期的污染削減之效果；若保護帶寬度管制區域過大，雖能增加水庫蓄水範圍之水源涵養與生態保育成效，但現有土地使用必受到極大限制，將使得保護帶設置成本驟升，徒增水庫管理、執行之困難。且水庫蓄水範圍週邊的土地利用行為，所產生的污染物對水庫水體的衝擊將較大，因此，本文將研究範圍界定在水庫蓄水範圍週邊的子集水區，並研訂合理的保護帶寬度，以作為水庫保護帶劃設之參考依據。

二、文獻回顧

水庫保護帶(buffer zone)為一種以植生設計為主，分布於水庫周邊之緩衝區域，以濾除非點源污染之不利影響；促使逕流流經保護帶區域，水流、泥砂及水體中污染物質受到植生群阻滯及濾除作用，使得流速減低，泥砂沉降，污染物稀釋沉澱，亦減少地表沖刷。保護帶的劃設原則

表 1 保護帶建議寬度

設置功能	保護帶寬度(m)
1. 基本功能	
a. 維持系統穩定度	20-38
b. 減少噪音	6-15
c. 維護水底生物族群	30
2. 降低糞便型大腸桿菌濃度	20-90
3. 去除營養鹽污染物	4-45
4. 去除沉積物	5-120
5. 控制水體溫度	10-45
6. 提供野生生物棲地	10-200

資料來源：Johnson and Ryba, 1992.

主要考量水質水量控制，評估適合的保護帶寬度及植生種類，以達到控制水質水量的目標。O'Meara *et al.* (1976)在美國馬里蘭州進行研究，推估若要削減腐壞槽之硝酸鹽，則保護帶寬度應需有 93 公尺。Clark (1977)在美國緬因州進行研究，建議為過濾農業放流水需要之保護帶寬度為 46-93 公尺。Johnson and Ryba (1992)依不同需求與目的，建議保護帶的設計寬度如表 1 所示。

非點源污染為降雨事件所誘發，造成地表逕流流經地表污染物，進而排放入河川、湖泊、水庫造成污染，除了常造成水庫優養化、污染河川水質生態之外，水中濁度增加亦會提高處理成本及負擔。由於非點源污染發生及傳輸過程均相當複雜，除了必須考慮降雨、水文、河道演算與污染物在集水區及河道中之傳送現象外，在時間上所表現出之不確定性亦不易掌握，因此非點源污染之定量分析實為艱難。在非點源污染之定量分析方法上一般以承受水體的水質為對象，進行污染量化分析，或以污染物在地表的遷移過程為對象，進行污染定量分析(溫清光等，2000)。

水庫保護帶規劃方法可以概分為理論模式、經驗公式及套裝模式之應用：

2.1 理論模式

理論模式係利用衰減(attenuation)與延滯(retardation)兩個機制來模擬化學物質在土壤之傳輸現象，評估保護帶中水流及水體污染物質之

阻滯及濾除功能，進而推估保護帶寬度與污染物質削減關係，以作為保護帶寬度之訂定依據。

2.2 經驗公式

經驗公式之建立主要透過現地或試驗室試驗資料分析，以歸納出保護帶寬度、坡度與污染物質削減率關係。透過現地水文歷程或試驗過程，記錄評估逕流及污染物質通過不同試驗條件保護帶後之削減率特性，其影響因素包括地理因素及水文條件，如坡度、植生、保護帶寬度、粗糙係數、降雨型態及強度等。經由觀測各類營養鹽之衰減，以找出各種保護帶設計因子及入流條件與污染削減量之關係，以供植生保護帶寬度配置訂定。因相關試驗皆在特定條件下實施，故各經驗公式適用範圍皆受到一定程度之侷限。Tollner *et al.* (1977)提出懸浮固體物(suspended solid, SS)與保護帶特性之函數關係，其影響因素包含坡度、流速、顆粒大小及水深等。Young (1980)利用人工降雨的方式，評估飼育場產生的廢污水通過保護帶後的效果，保護帶的設計坡度為 4%，寬度為 4.06 公尺，長度為 41.15 公尺。其研究顯示保護帶可充分降低逕流、泥砂及氮、磷等營養鹽，且污染物質濃度隨保護帶寬度之增加而逐漸遞減。Van Dijk *et al.* (1996)針對保護帶對於污染物的過濾功效進行相關試驗，在坡度固定條件下，保護帶寬度分別為 1、4-5 及 10 公尺，可分別達到 55-60%、60-90%及 90-99%的懸浮固體物削減率。行政院環境保護署(1998)根據模場實際測量的結果，探討保護帶坡長、坡度、入流量、污染物質濃度、植生密度及土壤種類對污染物質削減率影響機制。

2.3 套裝模式

保護帶規劃可以透過應用已發展完全之套裝模式，根據土地資料、植物生長狀況及污染物質化學反應等關係，計算保護帶對污染物質削減的成果，並進一步求得保護帶寬度與污染物質削減率關係。一般集水區模式或非點源模式都可模擬保護帶寬度與污染物質削減特性，相關模式如 CREAMS (Flanagan, 1986), SWAT (USDA, 2008), WEPP

(Laflen *et al.*, 1991), AGNPS (USDA, 2008; Young *et al.*, 1989), WinVAST (Tisdale *et al.*, 1996; Yu *et al.*, 2003), REMM (2008)等。

SWAT (Soil and Water Assessment Tool)所採用保護帶設計的理論基礎，係以評估保護帶入滲能力為主。SWAT 模式在計算保護帶對污染削減率的理論式如下：

$$trap_{eft} = a \times W^b \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中 W 為保護帶寬度， $trap_{eft}$ 為水流通過保護帶後之污染物質的削減率， a 及 b 為透過實場試驗紀錄而得之待訂參數。當保護帶其他設計因子改變時如：植生狀態、保護帶設計寬度等因子有所變化，將可透過 a 及 b 兩參數進行調整。本研究擬以 SWAT 模式之保護帶演算理論式及分析許多不同實場觀測記錄，針對研究區域的懸浮固體物污染削減率來進行估算，在計算保護帶對污染削減率的簡易理論，用以評估保護帶對污染削減的效益，並提出適合的保護帶設計寬度。

三、保護帶劃設方法

3.1 保護帶劃設流程

本研究考量石門水庫蓄水範圍之保護帶劃設，首先透過單位污染負荷潛量的分析，藉由污染承載的代表性指標，得知各地不同的污染產出潛量情形，再評估經濟效益的益本比與污染削減率兩者兼具的合理性，以研擬出適宜之理論保護帶寬度。保護帶劃設流程如圖 1 所示。

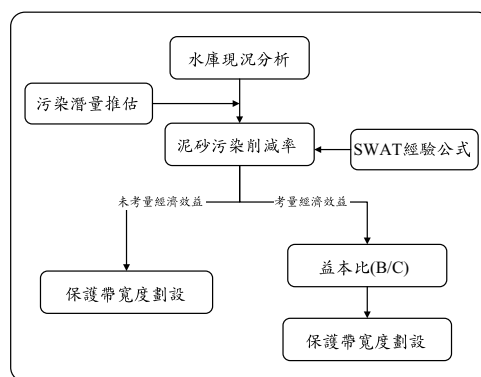


圖 1 石門水庫蓄水範圍保護帶劃設流程圖

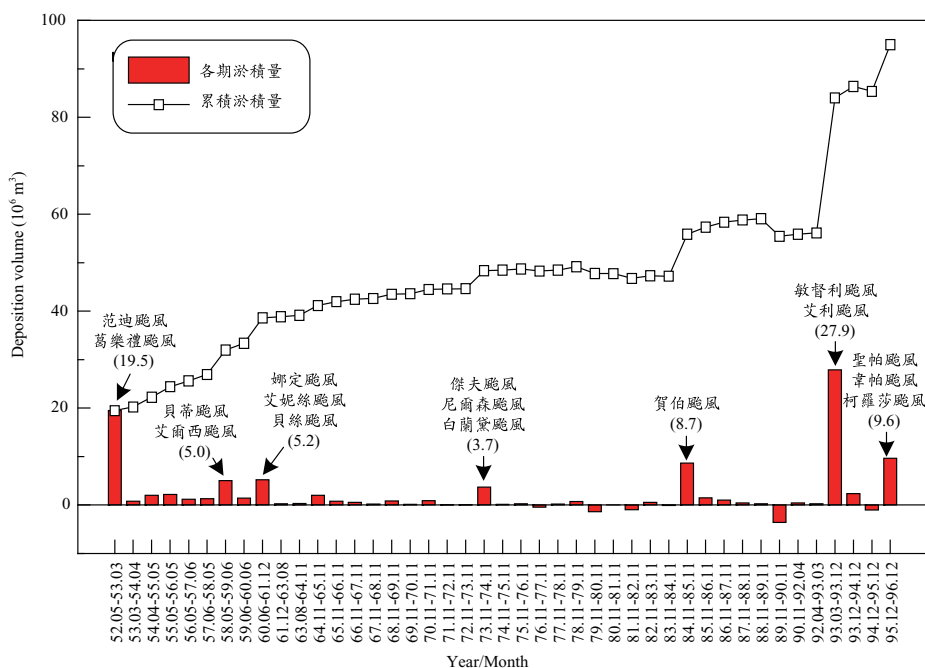


圖 2 石門水庫歷年淤積量變化圖

3.2 研究區域現況概述

石門水庫集水區地理位置居於東經 120°10'15"~121°23'10"，北緯 24°25'45"~24°51'20"之間，以淡水河上游之大漢溪流域為其主流，集水面積約為 75,929 公頃。石門水庫為台灣地區第三大水庫，以淡水河上游大漢溪(舊名為大料炭溪)為其主流，而大漢溪則為淡水河第一大支流。石門水庫集水區範圍廣大，共由 64 條主流構成，總長約 352.63 公里，流路呈現不規則的樹枝狀。由於石門水庫集水區位處多條斷層及地質脆弱帶，歷經 921 大地震及 93 年艾莉等風災，加上經濟、休閒遊憩發展、村落人口聚居等點源污染，以及土地超限利用、大量噴灑農藥等非點源污染。又集水區內地陡坡峻、地質鬆軟及自然崩塌等天然因素，每遇豪雨及颱風往往造成崩塌沖蝕，致使土石及枯木、枝葉由各支流下移流往水庫，污染水源，增加水庫淤積，水質優養化。圖 2 為石門水庫歷年淤積量變化。且近年來石門水庫水質之卡爾森優養化指標(Carlson Trophic State Index, CTSI)已達 40-50 間，在枯水期亦偶有超過 50，有普養至優養化之現象，如圖 3 所示。為確保水庫營運功能、集水區水域環境之保育及有效提升其供水能力，除攔阻泥沙及涵養水源之硬體工程規劃外，亟有必要規劃設置阻絕泥沙及污染源之緩衝地帶。

3.3 水庫蓄水範圍土地污染潛量推估方法

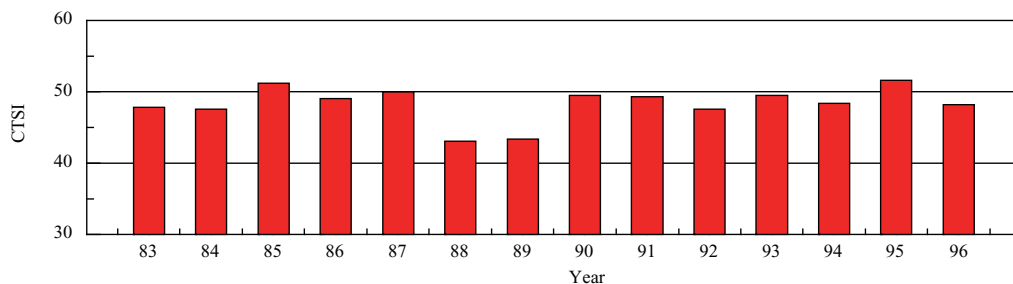
石門水庫集水區流域按蓄水範圍地勢水系分佈可劃分為五個子區塊，各子區塊範圍如圖 4 所示，並運用地理資訊系統(Geographic Information

System, GIS)經由疊圖及空間分析的功能，將原本各自獨立的地理資料，轉換成支援空間決策的資訊，並可以用來蒐集、儲存或分析具有區位特性的事物與現象。本文利用 GIS 程式將圖層套疊分析後，可將石門水庫各子區塊中的土地利用概分為林地、農地、建地、崩塌地及水體等型態如圖 5 所示，並列出石門水庫土地利用影像分類精度誤差矩陣分析(如表 2)，顯示出本研究之土地利用影像分類整體精度為相當良好的情形。並由分析結果得知各子流域之土地利用分布(如表 3)。為瞭解石門水庫蓄水範圍周邊土地非點源污染潛量現況，擬透過單位面積輸出法估算各子流域區塊的懸浮固體污染潛量(以下通稱污染潛量)，並採用環保署(2006)所率定的大漢溪各類土地各污染物之單位面積污染負荷量(如表 4)，來進行推估分析。

單位面積輸出法(Unit Load)，係指一地區單位土地面積在單位時間的污染排出量，可應用於大區域的污染管理及規劃，惟需要較多的土地利用資料。因不同的用地型態對水庫水質的影響程度有所差異，故在推估水體承受因人為開發、使用行為所衍生的污染負荷量時，必須先界定出各種土地利用型態可能產生的單位污染負荷量，假設已知各土地利用類型每年每單位面積輸出之特定污染量，則整個水庫蓄水範圍該區域污染物每年之輸出量如下：

$$Q = \sum_{i=1}^n U_i A_i \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中，Q：水庫蓄水範圍特定污染物之年輸出量，



(貧養：CTSI < 40；普養：40 < CTSI < 50；優養：50 < CTSI)

圖 3 石門水庫歷年水質情況(CTSI)

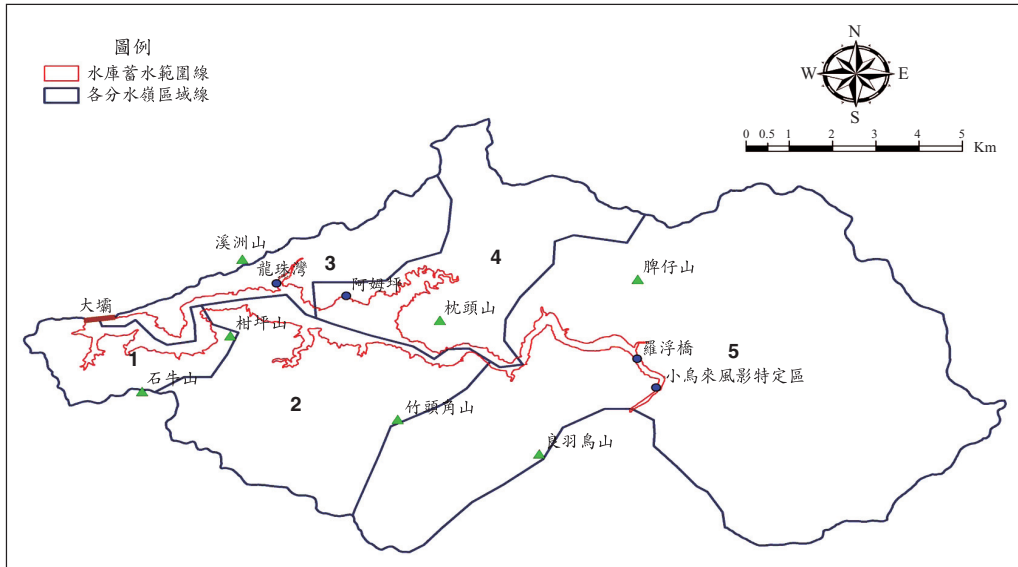


圖 4 石門水庫蓄水範圍周邊之子區塊

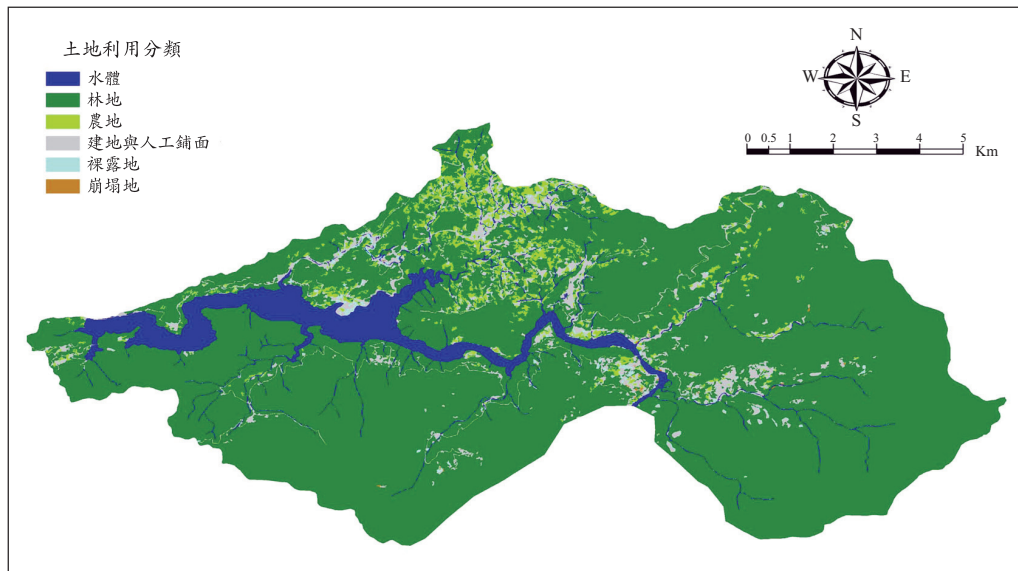


圖 5 石門水庫土地利用分類

公斤/年； U_i ：第 i 類區域之特定污染物單位面積年輸出量，公斤/公頃/年； A_i ：蓄水範圍內第 i 類區域所佔面積，公頃， $i = 1 - n$ 個。

3.4 保護帶設置效能評估方法

水庫保護帶設計需考量的因子包括保護帶的寬度及坡度。因目前石門水庫尚無完整的實場

記錄可供分析，惟因保護帶緩衝帶功能及攔減非點源污染之物理化學機制具有一般性，故其他流域之相關實場案例資料應用於石門水庫流域，亦具有一定程度之代表性。本研究彙整保護帶相關文獻之不同實場試驗的實測紀錄，保護帶寬度與 SS 削減量關係相關觀測資料如表 5 所示(台北水源特定區管理局，2006)，以提供作為篩選合宜之

表 2 石門水庫土地利用影像分類精度誤差矩陣

判釋 \ 真實	林地	農地	水體	建地與人工鋪面	裸露地	崩塌地	使用者精度
林地	53	3	0	0	3	1	0.88
農地	4	30	0	0	0	1	0.86
水體	0	0	35	4	0	1	0.88
建地與人工鋪面	0	0	3	26	1	0	0.87
裸露地	0	3	1	0	34	2	0.85
崩塌地	0	1	0	2	3	29	0.83
生產者精度	0.93	0.81	0.90	0.81	0.83	0.85	
整體精度	0.86			Kappa 指標		0.83	

表 3 石門水庫各區塊保護帶土地利用分布

(單位：公頃)

分區	林地	農地	建地與人工鋪面	裸露地與崩塌地	總面積
1	557.08	7.84	17.48	0.00	582.4
2	2,088.03	5.98	41.05	0.25	2,135.31
3	689.50	63.64	97.12	6.76	857.02
4	1,170.52	263.21	208.71	8.81	1,651.25
5	7,344.68	122.87	348.21	20.04	7,835.80

表 4 大漢溪各類土地各污染物之單位面積污染負荷量

(單位：公斤/公頃/年)

土地類型 \ 污染因子	林地	農地	社區	旱地
BOD	5	18	50	5.5
TN	3	26	8.5	26
TP	0.2	4	5	4
NH ₃ -N	1.5	13	4.25	13
SS	85	120	500	60

資料來源：行政院環保署(2006)

實地觀測資料，建立保護帶寬度與污染削減率之迴歸關係式。因石門水庫蓄水範圍內的平均坡度約達 54%，故於本分析中將坡度分類計算，將實地資料分為緩坡(40%以下)及陡坡(含 40%以上)兩類來進行迴歸分析，分析結果如下：

$$E_t = aW^b S^c \dots\dots\dots(3)$$

緩坡(坡度 40%以下)

$$E_t \text{ _ SS} = 49.284W^{0.04} S^{0.187} \dots\dots\dots(4)$$

陡坡(坡度含 40%以上)

$$E_t \text{ _ SS} = 108.816W^{0.04} S^{-0.066} \dots\dots\dots(5)$$

式中，保護帶設計與污染削減的關係如式 3 所示，其中 a, b, c 需透過實地試驗紀錄而得； E_t ：污染削減率百分比； $E_t \text{ _ SS}$ ：泥砂污染削減率百分比； W ：保護帶寬度(公尺)；及 S ：坡度。

3.5 保護帶設置之經濟效益評估方法

保護帶之設置除可減少泥砂淤積、維護水質水量、延長水庫壽命外，更可維持有效庫容、增加蓄水容積及降低水庫清淤、排淤所需建設經費。保護帶範圍劃設及推動落實所需考量的因素甚多，包括保護帶功能定義、相關法令配套、保

表 5 保護帶寬度與 SS 削減量關係

W(m)	S(%)	Et_SS(%)	文獻來源
5.5	6	27	Yu and Kaighn (1992)
15.2	6	67	
45.7	6	68	
4.6	13.5	70	Leeds (1989, 1990 and 1993)
9.1	13.5	84	
4.6	3.5	66	
9.1	3.5	83	
3.0	7	72	
6.1	7	83	
9.1	7	97	
3.0	12	88	
6.1	12	90	
9.1	12	96	
4.0	8	65	
7.9	8	65	
4.6	4.5	72	
9.1	4.5	76	
3	9	78	
3	40	86	吳嘉俊(2005)
3	60	89	
6	9	84	
6	40	94	
6	60	90	
9	9	84	
9	40	94	
9	60	88	

資料來源：台北水源特定區管理局(2006)

護帶範圍的土地權屬狀況、地方政府配合意願、地方民衆相關權益事宜、政府財務狀況、保護帶劃設之經濟效益及後續維護管理事宜等。此處之評估先聚焦在保護帶設置經濟效益之評估，保護帶設置之成本與效益牽涉之因素衆多，爲使問題適度簡化並凸顯保護帶設置後之主要效益，保護帶設置之成本主要考慮保護帶劃設之土地成本(C)；設置後之效益(B)則考慮水庫因保護帶設置後減緩原有淤積潛量所節省之水庫清淤經費，即因泥砂淤積爲維持足夠有效庫容所需進行清淤經費之減省成本爲保護設置之主要效益，並利用益本比(B/C)爲主要評估指標。將益本比較佳且適宜劃設的保護帶設計寬度視爲石門水庫蓄水範圍之保護帶範圍。

四、分析與討論

4.1 水庫蓄水範圍土地污染潛量推估結果分析

本研究推估石門水庫蓄水範圍非點源污染之污染潛量，擬以單位污染負荷、即以每年單位土地面積上特定污染物之單位污染輸出量(公斤/年)來表示。影響單位污染負荷的因素複雜多元，包括蓄水範圍內的地質、地形、植被、水文及氣象特性等因素，因此單位污染負荷具有很強的地域性。針對石門水庫蓄水範圍各子區塊的進行污染輸出潛量推估，惟在大漢溪單位面積污染負荷量的文獻中並無細分各土地利用的類型，故本研究係將石門水庫蓄水範圍土地利用的建地與人工鋪面視爲社區、裸露地與崩場地視爲旱地以進

表 6 石門水庫蓄水範圍周邊區塊非點源污染潛量推估

(單位：公斤/年)

分區	林地	農地	建地與人工鋪面	裸露地與崩塌地	污染總輸出量
全區	1,007,235	55625.16	356,283	2,151	1,421,294
1	47,352	941	8,740	0	57,033 (5)
2	177,483	718	20,524	15	198,739 (3)
3	58,608	7,636	48,561	406	115,210 (4)
4	99,494	31,585	104,353	529	235,961 (2)
5	624,298	14,745	174,105	1,202	814,351 (1)

表 7 石門水庫蓄水範圍周邊區塊非點源單位污染承載潛量

分區	周長(公尺)	污染總輸出量(公斤)	單位污染承載潛量(公斤/公尺)	排序
1	12,164	57,033	4.69	(5)
2	12,125	198,739	16.39	(2)
3	10,600	115,210	10.87	(4)
4	16,055	235,961	14.70	(3)
5	21,187	814,351	38.44	(1)

行推估，結果如表 6 所示。為進一步瞭解保護帶單位長度所需承載的污染潛量，以各區塊的非點源污染量，「單位污染承載潛量」指標為依據，推估結果如表 7 所示，單位污染承載量的排序亦可作為未來推動保護帶設置規劃優先順序之參考。

4.2 保護帶設置之經濟效益評估結果分析

本文中泥砂清淤成本之計算，擬同時考慮水庫清淤直接費用及清淤後的其他效益(水利署，2002)，在清淤費用中包含清淤成本、運移及棄土處理費用總計約為 1,100 元/m³，清淤後的其他效益費用約為 700 元/m³。清淤後的其他效益包含：庫容提高售水量亦隨之提高、發電效益及其他節省費用如：勞工安全衛生、環境保護措施、場商品質管制作業費、包商利潤及管理費、工程保險費、營業稅等。故本研究擬以 1,800 元/m³ 為保護帶設置後之主要效益。另在土地成本的計算，保護帶範圍之土地收購標準，係依據桃園縣地政機關(桃園縣地政事務所<http://www.ty-land.gov.tw/>) 97 年度之「土地公告現值(每平方公尺 924 元)再加上公告地價四成(每平方公尺 73 元)」進行估算，概略推得每平方公尺約 1,000 元為計算基

準。故本研究擬以每平方公尺約 1,000 元作為保護帶設置之主要成本。表 8 所示為本文針對石門水庫保護帶劃設之效益分析計算結果。

4.3 保護帶寬度訂定條件

本文保護帶設計寬度與懸浮固體物污染削減率的函數關係顯示，當石門水庫蓄水範圍周邊保護帶平均坡度為 54.05%時，植生保護帶對懸浮固體物的削減效果一般均可達到 60%以上。保護帶寬度由 30 公尺增加至 50 公尺時，對懸浮固體物污染削減的效果由 67%提高至 69%左右；當坡度增加，則保護帶對於污染的緩衝削減效果則會略為降低。分析保護帶寬度從 10~100 m 漸增，所對應之 SS 污染削減率及保護帶設置成本，顯示保護帶寬度增加、污染削減率緩增、設置成本卻遽增，故保護帶設置之益本比會隨之降低。由於污染削減率在保護帶寬度超過 30 公尺後逐漸趨於穩定僅有微幅成長，故寬度增加對保護帶的淨效益相對的降低，以致最後的益本比會有隨著保護帶寬度增加而有降低的趨勢。綜合考量經濟效益的益本比與污染削減率兩者兼具之合理性，再配合考量水土保持法規定之最小保護帶寬度，考量保護帶設置之執行面及管理推動之合理性，有

表 8 石門水庫全區保護帶設置效益

保護帶寬度 W(m)	SS 污染削減率 (%)	SS 污染削減量 (10 ⁴ kg)	土地成本 (C)百萬元	清淤效益 (B)百萬元	益本比 B/C
10	64.49	91.6	558	1,648	2.95
20	66.30	94.1	1,116	1,694	1.52
30	67.39	95.7	1,674	1,722	1.03
40	68.17	96.8	2,232	1,742	0.78
50	68.78	97.6	2,790	1,758	0.63
60	69.28	98.4	3,348	1,770	0.53
70	69.71	99.0	3,906	1,781	0.46
80	70.08	99.5	4,464	1,791	0.40
90	70.41	100.0	5,022	1,799	0.36
100	70.71	100.4	5,580	1,807	0.32

表 9 常用之最佳管理作業 BMPs

分區	結構性 BMP	非結構性 BMP
都市 城鎮區	滯洪池	土地利用之管制
	入滲溝	禁用有鉛汽油
	透水性路面	除冰鹽之管理
	植物緩衝帶	禁用含磷清潔劑
	人造溼地	
農業區	梯田式耕種系統	農藥、肥料使用
	污水塘	保育性耕犁
	植物緩衝帶	帶型耕作農作物
	貯流池	永久性植物覆蓋

資料來源：經濟部水利司，1996

必要簡化出一經濟可行的標準程序，故評估擬定出石門水庫「原則上劃設 30 公尺保護帶」。綜合評估各項結果顯示，降低保護帶坡度及增加保護帶寬度，對於污染削減的效果可以有所提升，但在經濟效益考量、法規及區域地形等等限制條件下，可考慮增設其他最佳管制措施(Best Management Practices, BMPs)來因應此問題。

「最佳管理措施」(BMPs)，是指以經濟有效之方法來進行污染源控制，一般來說，其可區分為結構性及非結構性二種(郭振泰等，1996)。其中結構性 BMPs 係指建造某種控制非點源污染之結構性設施，例如滯洪池(Detention Pond)、入滲溝(Infiltration Trenches)和植物性緩衝帶(Vegetation Buffer Strip)等，主要是以人工結構物型式，利用其沉澱、過濾、攔截等原理來處理收集後之非點源污水，而非結構性 BMPs 則是採用

管理上之措施來控制非點源污染的產生，如肥料的使用管制、改變耕作方式、物料管理、土地使用管制等策略，以有效控制非點源污染之方式，表 9 為常用之最佳管理作業方式。

4.4 石門水庫保護帶劃設檢討

文中評估擬定出石門水庫「原則上劃設 30 公尺保護帶」，訂定適當保護帶寬度。惟由於石門水庫庫區包含桃園縣政府的都市計畫，以及庫區中尚有「原住民保護區」及零散的「私有地」部分，故本研究由「石門水庫水源特定區計畫」中之土地分區，包含：旅一、旅二、旅三、商一、商二、商三及住一，以及「小烏來風景特定區計畫」中之土地分區的農業區與青年活動營區等共 9 處區域，其分別與保護帶劃設範圍有所衝突。本文依據現行法令、泥砂過濾等因素擬定各區所需保護帶寬度，惟計畫區內與石門水庫水源特定區計畫及小烏來風景特定區計畫標的部份區域有衝突，為免影響人民權益同時兼顧保護帶功能，實有必要慎重評估。考量保護帶設置之執行面及管理之推動，有必要簡化出一經濟可行的標準程序，本區保護帶寬度最後擬以 30 公尺為劃設原則，主要考量經濟效益的益本比與污染削減率兩者平衡，並以不小於水土保持法所規定之下限 30 公尺等原則來進行綜合規劃，劃設情形如圖 6 所示。為免影響人民權益同時兼顧保護帶功能，應慎重評估，未來並可考量採取 BMPs 或相關規劃處理措施在該地區加以補強緩衝帶之功能。

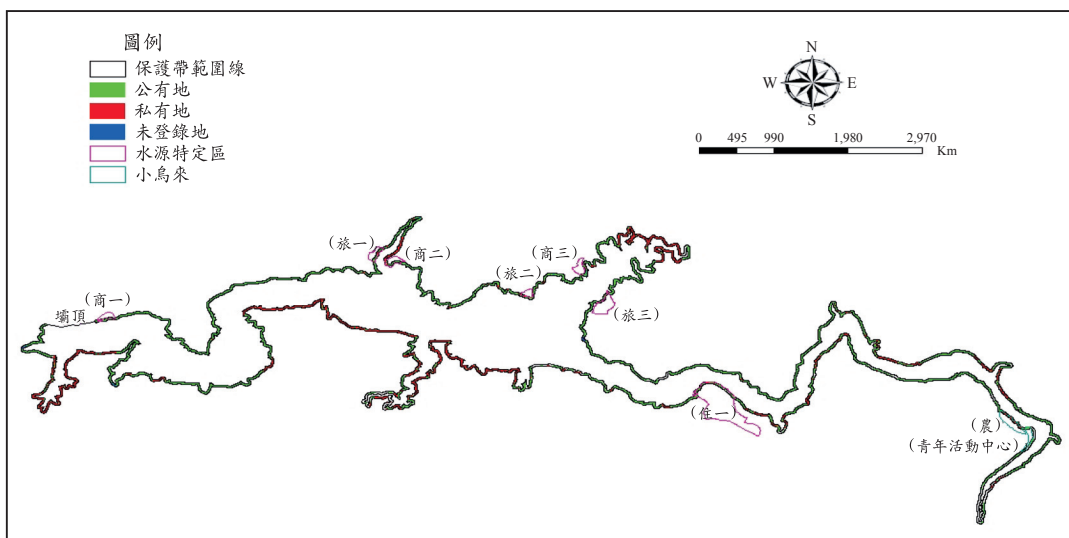


圖 6 保護帶寬度劃設

五、結論與建議

5.1 結論

本研究評估在水庫保護帶寬度為 10 公尺時之益本比為最佳，因當遞增保護帶寬度、污染削減率亦微幅上升時，其土地成本卻亦顯著遞增成長，故益本比反呈遞減之情形。保護帶劃設同時考量設置益本比與污染削減率指標之合理性，石門水庫蓄水範圍保護帶範圍最後擬以 30 公尺為劃設原則，而各細部區塊可依本文評估擬定出石門水庫「原則上劃設 30 公尺保護帶」之流程，訂定適當保護帶寬度，以適時增加污染削減率與水土保持功能。惟下列三點是劃設保護帶時必須加以審慎考量之因素：

- (1) 保護帶設置並非解決水庫泥砂淤積及優養化問題的唯一途徑，增加保護帶寬度的經濟效益並不高，故可考量採取 BMPs 或相關規劃處理措施在該地區加以補強緩衝帶之功能。
- (2) 依水土保持法規定之最小保護帶寬度以及益本比，擬定石門水庫保護帶寬度原則上劃設 30 公尺，同時因地制宜視土地屬性及使用狀況，可適度增加石門水庫保護帶寬度。

(3) 在保護帶範圍合宜性分析

- a. 擬定各寬度保護帶設置後監測水體水質改善成效。
- b. 建立保護帶寬度分級制度，在「石門水庫水源特定區計畫」及「小烏來風景特定區計畫」等區域加以規範限制。
- c. 將來在執行擬定保護帶寬度時，應在部分衝突區域應共同考量，並採取 BMPs 或相關規劃處理措施綜合應用在「石門水庫水源特定區計畫」及「小烏來風景特定區計畫」等部分地區加以補強。

5.2 建議

- (1) 在保護帶寬度與 SS 削減量關係相關觀測資料不足的限制層面，未來建議加強現地監測資料，以提升相關研究分析的價值。
- (2) 在污染量推估方面，本文採用單位面積輸出法，將石門水庫蓄水範圍按地勢水系分佈劃分為五個子區塊，推估單位污染產出潛量，其中以子流域區塊 5 單位污染產出潛量最高，為 38.44 kg/m，而子區塊 1 最低，為 4.69 kg/m，單位承載潛量最高建議優先治理，且保護帶寬度亦要特別考量。
- (3) 保護帶主要考量因素為設置益本比與污染

削減率兩者之間合理性進行綜合規劃，故保護帶劃設範圍最後擬以 30 公尺為原則。未來可以針對石門水庫庫區內之土地權屬、水質、地質、植被、坡度及都市計畫區等因子，適度擴增保護帶寬度，以增加污染削減率與水土保持功能。

參考文獻

1. 郭振泰、余嘯雷(1996)，「水庫集水區非點污染源控制最佳管理作業之研究」，經濟部水利司。
2. 環境保護署(1998)，「非點源污染調查及最佳管理作業之功能研究(四)」，台大生物環境系統工程學系。
3. 溫清光、范正成、鄭克聲等(2000)，「流域集水區非點源最佳管理措施之研究」，行政院環境保護署委辦，成功大學環境工程、國立台灣大學農業工程、臺灣科技大學土木工程系執行。
4. 經濟部水利署(2002)「水庫淤積浚渫成本效益評析研究」，能邦科技顧問有限公司。
5. 吳嘉俊(2005)，「緩衝綠帶帶寬與適用植物之研究」，行政院農委會水土保持局。
6. 台北水源特定區管理局(2006)，「翡翠水庫蓄水範圍及保護帶保育計畫」，台北科技大學水環境研究中心。
7. 環境保護署(2006)，「基隆河集水區及大漢溪水質改善推動計畫」。
8. 桃園縣地政事務所(2008)，地價查詢，資料引自 <http://www.ty-land.gov.tw/>
9. AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model) (2008), from the World Wide Web: <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=5199>
10. Clark, J. W., Viessman, W., Hammer, and M. J., (1977), Water Supply and Pollution Control. IEPA Dun-Donnelley Publisher New York. 3rd edition, pp. 857.
11. Flanagan, D. C., Neibling, W. H., Foster, G. R., and Hurt, J. P., (1986). Application of CREAMS in Filter Strip Design. Paper No. 86-2043. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp. 12.
12. Johnson, A. W., Ryba, and D. M., (1992), A Literature Review of Recommended Buffer Widths to Maintain Various Functions of Stream Riparian Areas. King County Surface Water Management Division (SWM), Seattle, Washington.
13. Leeds, P. B., Youngs, E. G., and Chapman, J. M., (1989), Modeling Water-Table Movement in Flat Low-Lying Lands. Hydrological Processes Volume 3 Issue 4, pp. 301-315.
14. Leeds, P. B., and Youngs, E. G., (1990), Aspects of Transport Processes in Aggregated Soils. European Journal of Soil Science Volume 41 Issue 4, pp. 665-675.
15. Laflen, J. M., Lane, L. J., and Foster, G. R., (1991), WEPP, A New Generation of Erosion Prediction Technology, Journal of Soil and Water Conservation, 46: pp. 34-38.
16. Leeds, P. B., and Rounsevell, M. D. A., (1993), The Impact of Dry Years on Crop Water Requirements in Eastern England. Water and Environment Journal, Volume 7 Issue 5, pp. 497-504.
17. O'Meara, Tim, Chaney, Tom, and Klockner, Wayne, (1976), Maryland Uplands Natural Areas Study: Field Notebook, Western Shore.
18. REMM (Riparian Ecosystem Management Model) (2008), from the World Wide Web: <http://www.cpes.peachnet.edu/remmwww/>
19. SWAT (Soil & Water Assessment Tool) (2008), from the World Wide Web: <http://www.brc.tamus.edu/swat/index.html>
20. Tisdale, T. S., Kaighn, R. J. J., and Yu, S. L., (1996), The Virginia Storm Model for Stormwater Management, v6.0 User's Guide, Department of Civil Engineering, University of Virginia, U S A.
21. Tollner, E. W., Barfield, B. J., Vachirakornwatana, C. and Haan, C. T., (1977), Sediment deposition patterns in simulated grass filters. Transactions

- of the American Society of Agricultural Engineers Vol. 20, No. 5, pp. 940-944.
22. United States Department of Agriculture (2008), from the World Wide Web: <http://www.usda.gov/wps/portal/usdahome>
 23. Van Dijk, P. M., Kwaad F. J. P. M. and Klapwijk M., (1996), Retention of Water and Sediment by Grass Strips. Hydrological Processes, Issue 8, pp. 1069-1080.
 24. Young, R. A., Huntrods, T. and Anderson, W. P., (1980), Effectiveness of Vegetated Buffer Strips in Controlling Pollution from feedlot runoff. Journal of Environmental Quality, pp. 483-487.
 25. Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D. and Anderson, W. P., (1989), AGNPS, Agricultural Non-Point-Source Pollution Model: A Watershed Analysis Tool. USDA, Conservation Research Report 35.
 26. Yu, S. L., and Kaighn, R. J., Jr., (1992), VDOT Manual of Practice for Planning Stormwater Management: Federal Highway Administration, Virginia Department of Transportation Final Report FHWA/VA-92/R13, pp. 190
 27. Yu, S. L., Zhen, J. X., and Zhai, S. Y., (2003), Development of A Stormwater Best Management Practice Placement Strategy for The Virginia Department of Transportation. Virginia Transportation Research Council, Department of Civil Engineering, University of Virginia, Charlottesville, VA, USA.

收稿日期：民國 98 年 6 月 17 日

修正日期：民國 98 年 11 月 26 日

接受日期：民國 98 年 12 月 3 日