

曝氣河段與其下游水質改善相關性探討 -以新店溪為例

¹許鎮龍，²黃明智，²王建文，³林俊宏

¹國立聯合大學環境工程與安全衛生學系副教授

²中天環境工程技師事務所

³國立聯合大學環境工程與安全衛生學系碩士班研究生

摘要

運用 WASP (Water Quality Analysis Simulation Program) 水質模式模擬分析新店溪之福和橋河段進行曝氣提升溶氧後，其下游 500 公尺處溶氧及生化需氧量水質之變化。結果發現福和橋溶氧若提升 1 mg/L，其下游 500 公尺處之溶氧可提升 0.9851 mg/L；另福和橋溶氧若能提升 1.015 mg/L，其下游 500 公尺處之溶氧即可提升 1 mg/L，BOD 約可降 0.5 mg/L，當傳氧效率為 0.97 kg O₂/kw-hr，每度電費以 3 元計算時，所需電費約為 727 元/天。其溶氧提昇效果可遠達至下游 2500 公尺處，可確實改善新店溪於枯水期間溶氧經常低於 1 mg/L 之情況。

關鍵詞: WASP、曝氣系統、河川水質管理、溶氧提升

一、前言

河川污染的成因主要由於污染物（物質、生物或能量）未經妥善處理即排入河川，雖然河川本身可進行自淨作用，但污染物濃度若已超過河川的涵容能力，將造成河川水質改變，進而危害國民健康及生活環境。

淡水河系為本省第三大河，流域面積達 2,726 平方公里，河長約 158.7 公里，支流包含了大漢溪、新店溪、基隆河等，流域範圍更涵蓋了桃園縣、台北縣（市）及基隆市等區域。由於北台灣受地理及氣候特性影響甚大，在年降雨量分配上十分不平均，導致豐、枯水期河川之流量變化甚大，且枯水期之河川水質狀況往往較為惡劣，如水溫高、溶氧低、污染濃度高等，此現象愈往下游，污染程度愈嚴重，有時溶氧濃度低於 1mg/L 以下，容易造成河岸惡臭及魚群大量死亡等。有鑑於上述之因素，希望藉由曝氣設施的規劃及設置，有效提昇特定河段之溶氧，以作為短期間改善河川水質之參考方案。

WASP 為國內常用之水體水質模式，能預測多種水質狀況；惟鑒於諸多研究針對用戶接管普及率提升或增設污水處理場以改善生活污水污染水體，但所需之時期相當長，國內外漸漸的將曝氣系統架設於河川水體，以取得河川水體之溶氧快速提升；法國的 Fourmies 將污水直接排入 Helpe Mineure 河中，地方當局將河水引至貯留池，在池中加以曝氣後，再導流回河中。貯留池設計停留時間為 5.5 小時，並採用細氣泡散氣盤方式傳輸溶氧，約能提升溶氧至 50 % 的飽和溶氧效果；美國華盛頓州之 Chehalis Siver 在每年 5 月至 10 月為枯水期，河水幾乎無流動造成溶氧不足，由於地方政府在經濟上的考量，採以河中曝氣方式提高河

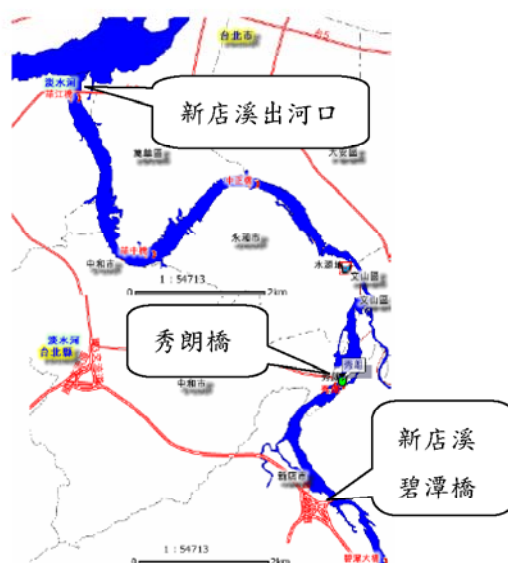
中溶氧，其曝氣系統採提供循環機制，而非傳統的曝氣機。並在 6 個月內減少 90 % 的臭味；美國馬利蘭州的 Homewood 運河，由於有機污染物和其他沉澱物之沉積，水深變淺，只剩下 0.9~1.1 公尺，1988 年夏天，7 月中旬，河水外觀變成非常黃，紅褐藻大量繁殖，水中溶氧只有 0.5 ppm，水中散溢著臭味，首先以散氣盤散氣方式實驗，但散氣盤易被阻塞，其成效並不顯著，接著改以 4 台 3HP 馬力之螺旋槳葉曝氣機，經過一個月的曝氣，水中溶氧可接近 80% 飽和溶氧，水體臭味消失，另外水中發現魚、蟹、龜等水生生物，曝氣效果明顯【5】。在國內近幾年才有學者漸漸的重視河中曝氣之溶氧提升。

本研究探討新店溪在福和橋進行曝氣系統之架設，推求曝氣等係數，並運用 WASP 模式推求，並探討對其下游 500 公尺處溶氧及生化需氧量水質變化之相關性。

二、方法與步驟

WASP 水質模式模擬河川曝氣系統對河川之影響，河川中以 1 公里為單元劃分，模擬範圍為碧潭橋至新店溪口（江子翠）約 15 公里，劃分為 15 個單元。依文獻指出新店溪自秀朗橋至新店溪口為感潮河段，長約 11 公里，並利用歷年水質資料及計算或推求參數，以低流量（ Q_{75} ）之 BOD_5 及 DO 計算，另依據行政院環境保護署 89 年至 94 年在碧潭橋、秀朗橋、中正橋、華中橋及華江橋之監測值，驗證 WASP 水質參數合理性，完成驗證後之模式，探討其下游 500 公尺處河川水質淨化程度與評估。

新店溪河段內計有安合排水、新店秀朗排水、景美排水、古亭排水、永和排水、瓦礫排水、中和中原溝排水及板橋江子翠排水等八處大排納入新店溪，本研究範圍主要大排分布狀況示意圖，詳見圖 1：



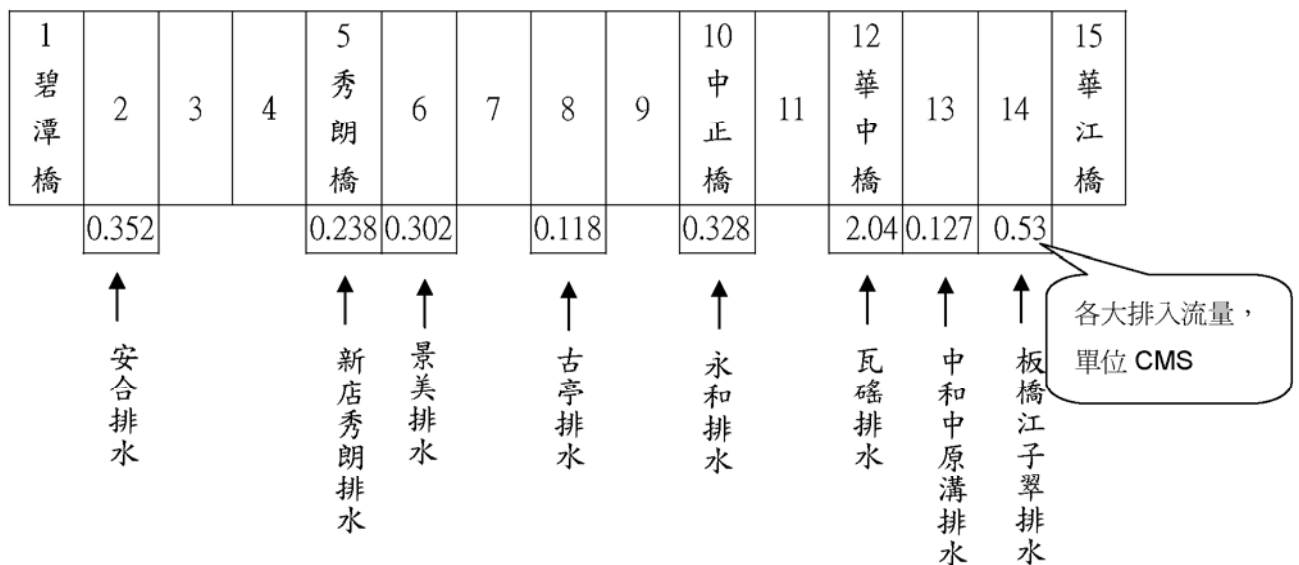


圖 1 主要大排分布狀況示意圖

1. 參數推求

(1). 流量：

本研究採流量延時曲線法之 Q_{75} 枯水期流量計算。

(2). 再曝氣係數：

再曝氣係數對溶氧的影響甚大，水體在流動的狀態下，水體表面與空氣接觸後，使水體中增加之溶氧量，本研究以手冊中 O'Connor 與 Dobbins 於研究所演繹之再曝氣係數與水流流速、平均水深及分子擴散相關方程式計算【1】：

$$K_2 = 3.93 \left(\frac{U^{1/2}}{H^{3/2}} \right)$$

式中

U：河川平均流速 (m/sec)

H：河川平均水深 (m)

(3). 底泥需氧量：

由於有機物在水體裡沉澱為底泥，因微生物分解有機物而消耗水中的溶氧，造成溶氧的變異。底泥需氧量 SOD (Sediment Oxygen Demand) 依模式手冊之公式為：

$$SOD = \frac{S_B}{H}$$

式中：

S_B = 擴散交換係數手冊定義值在 $0.5 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$

H = 平均水深 (m)

本研究將各流域之平均水深代入公式，算得 SOD 數值。

(4). 延散作用：

延散作用主要與流速、流量及距河口距離有關，流速越大延散係數也越大，距河口越近（越接近感潮河段）延散作用也越強烈，參考 WASP 7.0 說明手冊，其公式為【1】：

$$Exchange = -\frac{E_{12} \times A_{12}}{L_{12}}(C_2 - C_1)$$

式中：

E_{12} = Dispersion Exchange Coefficient [m^2/s]

（經驗值為 $0.0001 \text{ m}^2/\text{sec}$ ）

A_{12} = 單元面積 [m^2]

L_{12} = 單元長度 [m]

本研究將各河段單位面積與長度代入式中，計算延散係數數據。

(1). 水力參數：

水力資料提供水質模式建立所需之水力條件，由河川實測監測站數據，代入公式，求得 a、b、c、d 四個係數值，公式如下：

$$\log V = \log a + b \log Q \quad (V = aQ^b)$$

$$\log H = \log c + d \log Q \quad (H = cQ^d)$$

本研究將新店溪作流量與流速及流量與水深之線性迴歸分析後，取得 a、b、c、d 水力係數數值。

2. 參數之採取

模式模擬率動參數之結果整理如表 1 所示

表 1 本研究所採參數數值

參數	文獻值	所採參數值
碧潭橋流量 (Q_{75})	—	2.5cms
延散係數 (m^2/s)	1.0-13.7(I)(II)	6.32-15.82
再曝氣係數	0.05-0.56(III)	運用 O'Connor-Dobbins 運算求

參數	文獻值				所採參數值			
(1/d)					得值 0.3-0.05			
SOD (gO ₂ m ² /d)	0.5-17(I) 0.09-16.8(IV) 3-5(V)				0.3			
水理參數	a	b	c	d	a	b	c	d
	0.006	0.629	1.704	0.053(VI)	0.0001	3.7638	0.0096	3.1509

(I) 「淡水河系污染整治實施方案檢討」，行政院環保署(1994)。

(II) 「淡水河流域大漢溪、新店溪非點源污染分析調查及整治規劃-板新水源區、翡翠水庫水源區氮磷污染分析、調查及整治規劃」，行政院環保署(2000)。

(III) 「河川流域管理- WASP 水質模式評估愛河之整治方案」，吳芳池 (2003)

(IV) 「淡水河系河川曝氣、底泥清除及下水道聯接使用計畫對河川水質改善程度評估」，行政院環保署(1995)。

(V) 「淡水河感潮段之動態水質模擬」，洪佐承(1998)。

(VI) 「淡水河流域水質模式應用於污水場佈置研究」，藍文俊 (2000)

三、結果及討論

1. 模式驗證：

引用經濟部水利署之水文水資源資料管理供應系統得到 89-94 年監測站之監測值加以驗證模式的吻合度，由圖 2 針對新店溪（碧潭橋~新店溪口）建立之 Wasp 模式，可明確看出所模擬的數值與監測站之水質濃度值相當接近，以皮爾遜積差計算其相關性約為 99.2%，驗證所選取的參數值，可使模擬值接近於水體實測值。

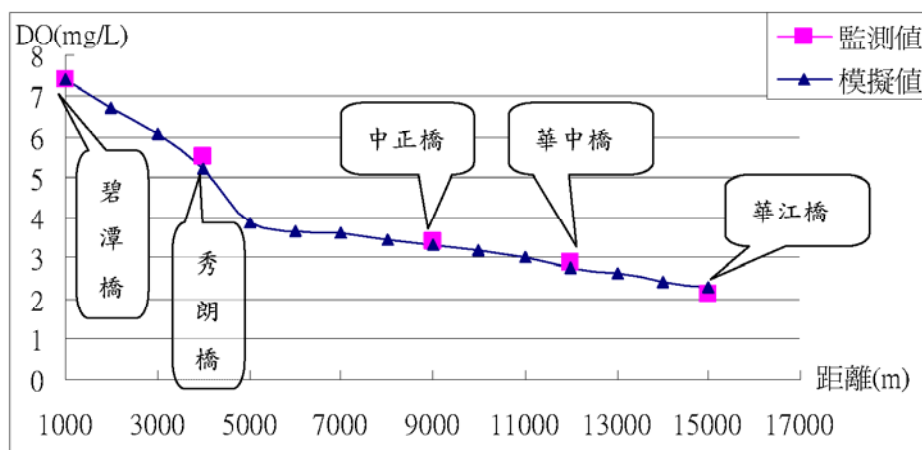


圖 2 Wasp 模擬新店溪與監測值比較

2. 福和橋溶氧提升對其下游之溶氧濃度之影響

福和橋位於源頭碧潭下游約 6 公里(6000m)左右，其下游 500m 處之一維座標為距碧潭約 6500m，於福和橋處若提升溶氧分別為 0.18 mg/L、0.35 mg/L、0.53 mg/L、0.7 mg/L、0.87 mg/L 及 1.05 mg/L 時，相對應於平面座標 6500, 7000, 8000, 9000, 及 10000 m 處之溶氧濃度，詳如表 2 及圖 3 之說明。

表2 福和橋各不同溶氧與其下游端之濃度變化 (mg/L)

距離 (m)	模擬值	提升溶氧 0.18	提升溶氧 0.35	提升溶氧 0.53	提升溶氧 0.7	提升溶氧 0.87	提升溶氧 1.05
6000	3.67	3.85	4.02	4.20	4.37	4.54	4.72
6500	3.63	3.81	3.98	4.15	4.32	4.49	4.67
7000	3.60	3.77	3.94	4.11	4.28	4.45	4.61
8000	3.46	3.62	3.78	3.94	4.10	4.26	4.41
9000	3.31	3.46	3.61	3.75	3.90	4.05	4.20
10000	3.19	3.33	3.47	3.61	3.75	3.89	4.02

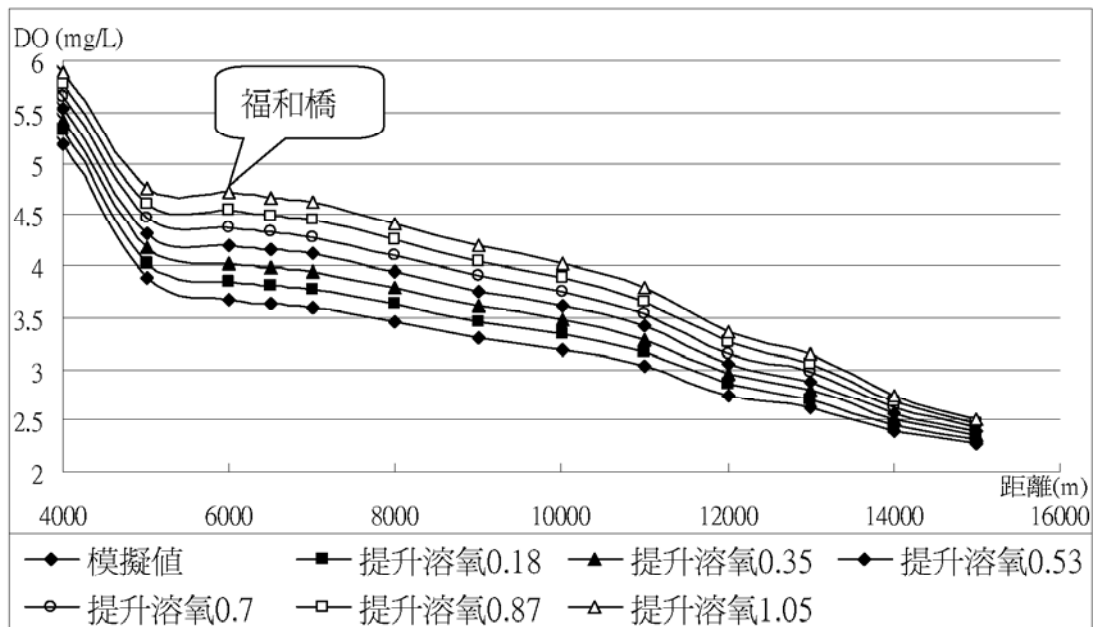


圖3 福和橋下游DO濃度模擬之變化

福和橋溶氧提升與其下游 500 公尺處溶氧提升量相關性探討 - 由上述模式所推求之福和橋溶氧提升與其下游 500 公尺處之溶氧相關性，以線性迴歸推求該二點間之溶氧相關性，發現福和橋溶氧之提升與其下游 500 公尺處之溶氧成線性關係，亦即福和橋溶氧若能提升 1 mg/L，其下游 500 公尺處之溶氧可提升 0.9851 mg/L，另福和橋溶氧若能提升 1.015 mg/L，其下游 500 公尺處之溶氧即可提升 1 mg/L，可以以圖 4 及下列方程式說明：

$$y = 0.9851x + 0.0188 ; R^2=1$$

式中：

y= 福和橋下游500公尺處之溶氧量；mg/L

x=福和橋端之溶氧量；mg/L

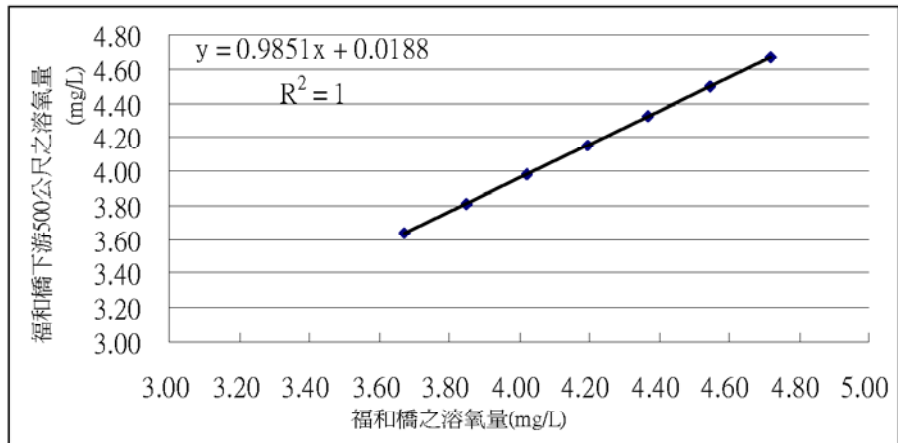


圖4 福和橋與其下游500m之溶氧濃度變化

3. 福和橋溶氧提升對其下游之 BOD 濃度之影響

於福和橋處若提升溶氧分別為 0.18 mg/L、0.35 mg/L、0.53 mg/L、0.7 mg/L、0.87 mg/L 及 1.05 mg/L 時，發現 BOD 之濃度變化量在 0.1 mg/L -0.5 mg/L 間，詳見圖 5 所示。

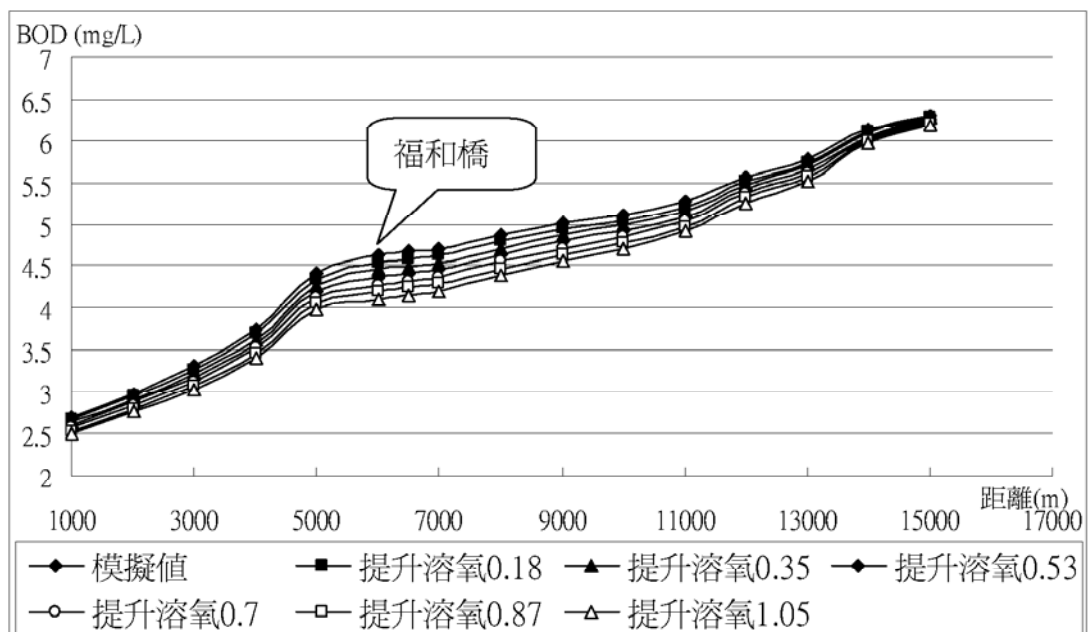


圖5 福和橋下游BOD濃度模擬之變化

4. 電費推估：曝氣機為 5 馬力數 (3.75kw) 時，當傳氧效率為 0.97 kg O₂/kw-hr，每度電費以 3 元計算時，以此計算所架設之曝氣於用電時所消耗之費用，計算如下

需氧量計算：

$$2.68 \text{ cms} \times 3600 \text{ s/hr} \times 1.015 \text{ mg/L (溶氧提昇)} \div 1000 = 9.97 \text{ kgO}_2/\text{hr}$$

$$1. \text{ 用電量計算：} 9.79 \text{ kg O}_2/\text{hr} \div 0.97 \text{ kg O}_2/\text{kw-hr (傳氧效率)} = 10.1 \text{ kw}$$

$$10.1 \text{ kw} \times 24 \text{ hr} = 242.29 \text{ kw-hr}$$

$$2. \text{ 電費：} 242.29 \text{ 度} \times 3 \text{ 元/度} = 727 \text{ 元/天}$$

$$3. \text{ 曝氣機台數：} 10.1 \text{ kw} \div 3.75 \text{ kw/台} = 2.69 \text{ (約 3 台)}$$

四、結論

1. 提升水中溶氧為最直接迅速的改善指標，但河川機械曝氣只可視為短期治標的權益措施，需配合其它治本整治方案（如污水截流站、下水道系統興建等），將更能發揮其河川整治效果。
2. 溶氧量與距離之相關性，可用 $Y = 0.9851x + 0.0188$ 計算；福和橋溶氧若能提升 1.015 mg/L ，其下游 500 公尺處之溶氧即可提升 1 mg/L 。
3. 使用曝氣機 5 馬力 3 台，當傳氧效率為 $0.97 \text{ kg O}_2/\text{kw-hr}$ ，每度電費以 3 元計算時，使其下游 500 公尺提升溶氧 1 mg/L ，所需電費為 727 元/天。
4. BOD 在曝氣系統作用下，提升溶氧若提升 $0.18 \text{ mg/L} \sim 1.015 \text{ mg/L}$ ，及減少量約為 0.1 mg/L 至 0.5 mg/L 間。

參考文獻

1. James L. Martin, Ph.D., P.E. "Supplement To Water Analysis Simulation Program (WASP) User Documentation Version 7", Mississippi State University, 2005.
2. 吳芳池，「河川流域管理- WASP 水質模式評估愛河之整治方案」，國立中山大學環境工程研究所，2003。
3. 洪佐承，「淡水河感潮段之動態水質模式」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，1998。
4. 藍文俊，「淡水河流域水質模式應用於污水場佈置研究」，淡江大學水資源及環境工程學系研究所碩士論文，2000。
5. 行政院環境保護署，「淡水河系污染整治系統管理計畫」，1997。
6. 環楊環保工程股份有限公司，「朴子河流域水質改善曝氣設施設置評估規劃」，2002。
7. 陳筱華，「河川污染性及水質數學模式之探討—以基隆河為例」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，1989。