

花蓮溪各溪段BOD、DO濃度變化模擬之研究

陳鈞華⁽¹⁾、宋建明⁽²⁾、甘俊二⁽³⁾

⁽¹⁾屏東科技大學土木工程系副教授、水利技師

⁽²⁾屏東科技大學土木工程系博士生

⁽³⁾七星農田水利基金會董事長、水利技師

摘要

本研究在於模擬花蓮縣環保局於 94~98 年生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD)、溶氧量(Dissolved oxygen, DO)二大水質污染指標之 3 個水質監測站(花蓮大橋、豐平橋、下荖溪橋)水質監測資料，並克服水質模擬之 S-P 模型長距離模擬會造成水質結果出現瀾散現象，利用 S-P 模型之改良矩陣模型模擬出花蓮溪 3 溪流段之出流 BOD(mg/L)、DO(mg/L)濃度，分別為 L21=11.1140(mg/L); L22=9.1210(mg/L); L23=6.3571(mg/L)。O21 =6.5145(mg/L); O22 =5.5429(mg/L); O23=5.9085(mg/L)。利用此模式可快速求解長距離 BOD、DO 水質變化狀況，並可給規劃河川水質變化之相關研究可接續探討其他重要水污染指標之參考依據。

關鍵詞：生化需氧量、溶氧量、改良 S-P 模型

一、研究動機目的

1970 年 Velz 最早提出以規劃河川工程時首應考量污染物質排放至河川水體的限制量即為涵容能力(carrying capacity)，亦指於不低於規定溶氧限值下，河川內微生物分解有機物所能涵容之能力。Richard 在 1976 年針對涵容能力應用於社區河川整治的評估。在 2002 年我國重新修正水污染防治法中涵容能力定義：指在不妨害水體正常用途情況下，水體所能涵容污染物之量。

本研究基於水利署推動之流域水污染整治具體措施推動計畫—河川污染管制計畫，因利用花蓮河流域水污染計畫中探討

以 matlabe 軟體，建立推估 BOD、DO 之濃度變化之可行性模擬模式。

花蓮縣目前河川水質以 RPI 值評估，則約有 78.5%河川長度屬未(稍)受污染，無嚴重污染河段，水質尚稱良好。花蓮溪約 3.23%河段屬中度污染，河川水質達成率需加強河川水質的維護，故本研究動機為此，亦想藉由 Velz 溶氧模式模擬出花蓮溪，如遭遇到自然或非自然因素(如畜牧廢水排放、農業用地肥料經雨水沖刷等)其之 BOD、DO 污染變化為何，可利用模式快速簡易推估出可能短期間造成之結果，並可加以規劃處理。

二、材料及方法

2.1 模擬對象地理位置說明

花蓮縣流域轄區共有花蓮溪、秀姑巒溪及和平溪等中央管河川，吉安溪、美崙溪、立霧溪等縣管河川。上述河川均源出中央山脈，流入太平洋。花蓮溪為東部主要河川之一，其流域之地理位置，北與立霧河流域為鄰，西以中央山脈與濁水溪為界，南接秀姑巒河流域，東與海岸山脈相毗鄰，流域面積 1,411.4 平方公里。花蓮縣河系囊括花東縱谷北側之溪流，主流發源於標高 2,260 公尺中央山脈丹大山支脈之拔子山，上游稱為嘉農溪，蜿蜒於山嶺間，於光復鄉大富村北邊花東鐵路橋起使稱花蓮溪。自上游依序匯集光復溪、馬太鞍溪、

萬里溪、壽豐溪及木瓜溪等支流，流經光復鄉、鳳林鎮、壽豐鄉、吉安鄉後，於花蓮市北郊注入太平洋，幹流長 57.28 公里。花蓮溪之計畫洪水量 16,600 秒立方公尺，如表 1 所示。本研究以花蓮縣秀姑巒溪水質監測站：花蓮河流域(如圖 1 所示)目前環保署設有 3 個水質測站，如表 2 所示，花蓮大橋、豐平橋、下荖溪橋，監測頻率每月 1 次之監測水質為，由 94 年至 98 年 5 月水質檢測結果，取平均值為模擬對象。



圖 1 花蓮河流域水質測站，花蓮大橋、豐平橋、下荖溪橋

表 1 花蓮溪溪流概況

花蓮溪 主要支流	木瓜溪、壽豐溪、萬里溪、馬鞍溪、光復溪	流經區域	花蓮縣：吉安鄉、壽豐鄉、鳳林鎮、光復鄉、秀林鄉、萬榮鄉、花蓮市
計畫洪水量	16600 秒立方公尺	流域面積	1774 平方公里，幹流長度 57.28 公里
幹線長度	57.28 公里	出海地點	壽豐鄉、吉安鄉

表 2 花蓮溪水質測站點

編號	測站名稱	河川名稱	測站地址
1	花蓮大橋(2.5)	花蓮溪	花蓮縣吉安鄉 11
2	豐平橋(24.5)	花蓮溪	花蓮縣壽豐鄉 9
3	下荖溪橋(7.2)	花蓮溪	花蓮縣壽豐鄉 9 號公路旁

2.2 模式理論設計說明

本模式基於 S-P 理論 (H.Streeter, E. Phelps, 1925) 提出後，並考慮到河段長距離時可利用矩陣分析方式，將河段分成數小段，加以應用於多段溪流水質模型模擬並可建立其 BOD 和 DO 濃度變化情形。

首先建構該模型建立，BOD 的模擬，公式如下。

$$UL + M = L_2$$

式中， L_2 表示各斷面輸出的 BOD 濃度向量； L 表示各斷面輸入的 BOD 濃度向量； U 表示 BOD 響應矩陣， $U = A^{-1}B$ ； M 表示初始斷面影響， $M = A^{-1}G$ 。進一步， A 、 B 、 G 可分別表示為：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -a_1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -a_2 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & -a_{n-1} & 1 \end{bmatrix} \dots\dots(1)$$

陳鈞華、宋建明、甘俊二《花蓮溪各溪段 BOD、DO 濃度變化模擬之研究》

$$B = \begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_3 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & b_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

$$G = \begin{bmatrix} a_0 L_{20} \\ 0 \\ 0 \\ \cdots \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

依上述矩陣其中元素：

$$a_{i-1} = \alpha_i(Q_{1i} - Q_{3i})/Q_{2i}, b_i = Q_i/Q_{2i},$$

$$\alpha_i = \exp(-k_{1i}t_i) \dots\dots\dots(4)$$

接續對於DO的模擬可改為：

$$VL + N = O_2 \dots\dots\dots(5)$$

式中 O_2 表示各斷面輸出的DO濃度向量；
 L 表示各斷面輸入的BOD濃度向量； V 表示DO響應矩陣， $V = -C^{-1}DA^{-1}B$ ； N 表示初始斷面影響，

$N = C^{-1}BO + C^{-1}(F + H) - C^{-1}DA^{-1}G$ ， O 表示各斷面輸入的DO濃度向量，其中C、D、F、G可分別表示為：

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ -c_1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & -c_2 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & -c_{n-1} & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(6)$$

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ d_1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & d_2 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & d_{n-1} & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(7)$$

$$F = \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ \cdots \\ f_{n-1} \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} h_0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdots \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(8)$$

依上述矩陣其中元素：

$$c_{i-1} = r_i(Q_{1i} - Q_{3i})/Q_{2i},$$

$$d_{i-1} = \beta_i(Q_{1i} - Q_{3i})/Q_{2i},$$

$$f_{i-1} = \delta_i(Q_{1i} - Q_{3i})/Q_{2i}, h_1 = c_0O_{20} - d_0L_{20},$$

$$r_i = \exp(-k_{2i}t_i), \beta_i = k_{1i}(\alpha_i - r_i)/(k_{2i} - k_{1i}),$$

$$\delta_i = O_s(1 - r_i) \dots\dots\dots(9)$$

三、結果與討論

3.1 模擬分析之結果

1. 花蓮河流域 4 個水質測站（花蓮大橋、豐平橋、下荖溪橋），花蓮溪溪水平均飽和溶解氧 $O_s=8.74(\text{mg/L})$ ，年平均溫度約 22°C ，絕對最高氣溫約 36°C ，絕對最低氣溫約 4.4°C 。年平均雨量為 2028 公厘。花蓮大橋、豐平橋、下荖溪橋分別為上游、中游部分：上游的坡稱為坡降，坡度較陡，流速很急，坡的下降比例常超過每公里下降 9.3 公尺；中游部

分河流以流至較低處，坡度也較平緩，大致每公里下降 0.4~1.9 公尺。3 測站之間距離分別為預設估計約為 6、10、6km。L11、L12 旁側養殖戶排水 BOD(mg/L)濃度；O11、O12 旁側養殖戶排水 DO(mg/L)濃度。L11=150(mg/L);L12=200(mg/L); O1=11(mg/L);O12=1.2(mg/L);

2. 花蓮溪模擬各 3 個觀測站(花蓮大橋、豐平橋、下荖溪橋監測)出流結果 BOD(mg/L)、DO(mg/L)濃度分別如下：

L21=11.1140(mg/L);
L22=9.1210(mg/L);L23=6.3571(mg/L) 。 O21
=6.5145(mg/L); O22 =5.5429(mg/L); O23=
5.9085(mg/L) 。與平均花蓮溪溶氧量約

四、結果與建議

1.花蓮河流域中花蓮大橋、豐平橋、下荖溪橋河段屬於乙類水體的河段其水體分類水質標準合格率偏低。則生化需氧量和溶氧量對污染質的控制更顯得重要。以該測站於河道之位置來看，由花蓮大橋得知沿著花蓮溪溪流而下其模擬出生化需氧量和溶氧量之水質經由溪水稀釋等因素，其生化需氧量污染質由11.1(mg/L)降至 6.35 (mg/L);溶氧量污染質範圍為 6.5(mg/L)至 5.5(mg/L)之間。其中間模擬值偏高 5.9(mg /L)原因為其上游畜牧廢水與生活污水之生化需氧量和溶氧量濃度排入較高，故模擬出之水質

4~6(mg/L)相差不多，故本模式應用於花蓮溪BOD、DO濃度的分析推估具有一定的評估能力。

較差。

2.國內對於水污染防治工作之目前點源污染立法與相關管制工作，已逐步的控制與掌握，接續非點源污染對於河川溪流之影響逐漸明顯，因此應持續重視「非點源污染」水污染防治，在花蓮流域內，主要之非點源污染為畜牧廢水、農地農業回歸水為主，如利用此模式設置多河段多排入點和多排出點，應可以模擬出當長時間非點源排放污染持續形成之可能結果，並加以適當控制與規劃決策。

參考文獻

- 1.黃聖授，「高屏溪涵容能力之評估」，國立中山大學環境工程研究所碩士論文，2000。
- 2.江漢全，戴文堅、許麗淑、張晉豪、張靖為，降雨對花蓮縣 RPI
- 3.指標之影響-以花蓮溪與秀姑巒溪為例，2009 資源與環境學術研討會論文集，p.35-44，2009。
- 4.行政院環境保護署網站：
<http://www.epa.gov.tw/>
- 5.行政院環境保護署，國家環境保護計畫，1998。
- 6.行政院環境保護署，國家環境保護計畫（修正草案），2005。
- 7.行政院環境保護署，95 年版環境保護統計年報，2006。
- 8.行政院環境保護署，96 年版環境保護統計年報，2007。
- 9.行政院環境保護署，97 年版環境保護統計年報，2008。
- 10.Richard G. Hunter and John H. Carroll ,1976,Estimation of Community Metabolism in a Polluted Stream Using the Velz Oxygen Model, Proceedings of the Oklahoma Academy of Science 65:19 - 23.
- 11.C.J. Velz,1970, Applied Stream Sanitation, Wiley-Interscience, New York, NY.