

## 水理水質模式於嘉義縣朴子河流域之建立及運用

莊德豐\*、劉明全\*\*、葉安晉\*\*\*、陳佩足\*\*\*\*

### 摘要

國內河川污染嚴重，已引發公共衛生相關問題。若要解決河川污染問題，應先對河川之水理水質特性確實掌握，而河川水理水質模式已常被運用來模擬河川內水質之變化情形，瞭解河川水質之狀況，並作為評估水質改善效益及改善目標達成之依據。由於國內大部份河川均已受不同程度之污染，環保署目前正為積極改善國內河川水質而努力。河川水理水質模式之建立不僅可作為水質改善目標之監控工具，同時將利於有效掌控河川各河段之水質變化情形。因此，本文將闡述以嘉義縣朴子溪為例，利用環保署水質監測站歷年在該水體監測之水理及水質資料及研究期間之實測資料，建立適用於該河川之水理水質模式，並完成模式之率定及驗證等工作。在模擬河段的劃分上，乃以嘉義縣灣內大橋為分界，以上河段以QUAL2E模式進行水理、水質分析演算，以下河段則以HEM-2DT模式進行模擬。研究結果發現所建立之水理水質模式，均能有效模擬嘉義縣朴子溪之水質狀況，故研究成果除可作為推估河川水質污染或改善成效之運用外，同時也能提供後續相關研究或實務技術之使用及環保相關政策擬定等之參考依據。

關鍵字：河川污染、水理水質模式、HEM-2DT、QUAL2E

---

\*美和技術學院醫務管理系副教授  
\*\*嘉義縣環境保護局水污染防治課  
\*\*\*台南縣政府行政管理室  
\*\*\*\*際星科技股份有限公司

## 壹、前言

水質模式始於1925年Streeter and Phelps於Ohio River研究中提出的河川DO-BOD (溶氧-生化需氧量)模式；而國內河口水質模式之研究，則始於前經合會與美國甘德麥工程顧問公司(CDM)(1971)的「淡水河系水污染及河川涵容能力」計畫，採用之水質模式為一維BOD-DO模式；爾後則陸續使用Streeter-Phelps公式修正式、QUAL2E、MIKE II、ESTUARY、WASP5、HEM-2DT等模式，應用於河川之水理及水質模擬。QUAL2E水質模式係由美國環保署所發展完成之多功能河川水質模式，係由QUAL-I及QUAL-II模式逐漸改進而完成之成熟模式。QUAL2E模式針對樹枝狀河川而言，使用者可任意組合15種水質參數，模擬常態(Steady-State)或假動態(Pseudo-Dynamic)下之河川水質，其基本理論為一維的傳統延散質量傳輸方程式。它可描述河川水質隨時間與空間之變化情形，其計算方式是將整個流域依水理特性切割成若干河段，再將每一河段分成具有等間距之計算元素，且相同河段內元素具有相同之水力特性(如坡度、斷面積及糙度等)與生物化學係數(如BOD去除率、藻類沉降率等)。HEM-2D模式(Hydrodynamic Eutrophication Model-2D)為Park and Kuo (1993)所發展，為一種垂直二維水理水質模式，此模式適用於受感潮作用之水體(如感潮河川及河口)，可模擬水體縱向及垂直方向之水理及水質濃度分佈。若針對主支流匯流作用之複雜特性，而將HEM-2D模式加以擴充，對主支流交匯處另立連續方程式，將可使其成為河系通用化之數值模式(HEM-2DT)。

朴子河流域於民國82年環保署「北港溪、朴子溪污染整治規劃總報告」中(行政院環保署，1993)，曾以QUAL2E建立北港溪及朴子溪之水質模式；民國91年環保署「朴子河流域水質改善曝氣設施設置評估規劃」(行政院環保署，2002a)，亦以QUAL2E進行水質模式之建立與水質改善效益之評估。然由於朴子溪之出海口銜接台灣海峽，其下游段屬於感潮河段，僅利用QUAL2E進行水質模式恐無法足以顯現下游河段之水質變化。因此本研究乃以嘉義縣朴子溪為例，並利用HEM-2DT模式(變量流模式)結合QUAL2E模式(定量流模式)，建立朴子溪之DO、BOD5、氨氮(NH<sub>3</sub>)、總磷(TP)水質模式，以應用於朴子溪水質改善模式模擬之依據。

## 貳、模式建立

### 一、QUAL2E 模式

QUAL2E水質模式原理與方法為傳統延散質量傳輸方程式。它可描述河川水質隨時間與空間之變化情形。其求解方式為以數值內差分法(Numerical Implicit Finite Difference)之高氏消除法(Gaussian Elimination)及反代入法(Back Substitution)解有關之偏微分方程式，其中包括溫度及藻類生長項目之收斂試驗。可模擬之水

質項目有：保存性物質(三類)、非保存性質(二類)、溫度、生化需氧量、溶氧、藻類、有機氮、氨氮、硝酸氮、亞硝酸氮、有機磷、溶解磷、大腸菌；所需輸入資料有：控制資料、水理資料、水文資料、氣象資料、污染量資料、各種生化反應之係數、上游邊界條件、初始水質；在應用上之限制：河段(Reach)分段最多50段、每河段單元數目(Element)不超過20個及總單元數不超過500個、源頭單元(Headwater)數目最多10個、匯流點單元數目最多9個、點源及汲水單元(Point source & Withdrawal)最多50個。

利用QUAL2E模式進行水質模擬，必須輸入一些主要參數，以下針對各參數做一簡單的說明：

(一)溫度相關因子

由於水溫之變化對水質會造成相當影響，所以水質參數亦必須進行溫度校正，因此需考量溫度修正係數 $\theta$ 。

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)}$$

式中  $K_T$  為  $T^\circ\text{C}$  時之係數值； $K_{20}$  為  $20^\circ\text{C}$  時之係數值； $\theta$  為溫度修正係數，隨水質參數種類而不同(Bowie et al., 1985, Brown and Barnwell, 1987)。

(二)水力參數

1.平均流速  $V$  與流量  $Q$  之關係式： $V = a \cdot Q^b$

2.平均水深  $H$  與流量  $Q$  之關係式： $H = c \cdot Q^d$

利用某些河道斷面實測之流量、流速及水深資料，以上述二式進行統計迴歸求解的方式，即可求得式中的河況係數值  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 。

(三)BOD 及 DO 反應速率常數

QUAL2E模式中有關BOD及DO反應速率常數的參數有祛氧係數 ( $K_1$ )、再曝氣係數 ( $K_2$ )、沉降係數 ( $K_3$ )及底泥耗氧率 ( $K_4$ )等。各參數之QUAL2E建議值及公式符號、單位等，分別如表一所示 (Dobbins, 1964; Bowie et al., 1985; Brown and Barnwell, 1987)。

表一 QUAL2E 參數建議值

參數符號	說明	單位	建議值
$\alpha_5$	每單位 $\text{NH}_3$ 氧化之攝氧量	mg-O/mg-N	3.0-4.0
$\alpha_6$	每單位 $\text{NO}_2$ 氧化之攝氧量	mg-O/mg-N	1.0-1.14
$\sigma_3$	氨氮之底污泥產生率	mg-N/m <sup>2</sup> -day	—
$\sigma_4$	有機氮沉降率係數	day <sup>-1</sup>	0.001-0.1
$\beta_1$	氨氮之生物氧化率係數	day <sup>-1</sup>	0.1-1.0
$\beta_2$	硝酸氮氧化率常數	day <sup>-1</sup>	0.20-2.0
$\beta_3$	有機氮對氨氮之水解速率常數	day <sup>-1</sup>	0.02-0.4
$K_1$	祛氧係數	day <sup>-1</sup>	0.02-3.4
$K_2$	再曝氣係數	day <sup>-1</sup>	0.0-100
$K_3$	BOD消失係數	day <sup>-1</sup>	-0.36~0.36
$K_4$	底泥耗氧率	mg-O/m <sup>2</sup> -day	—

(四)氮及磷反應速率常數

本研究為因應飲用水水源水質標準之公告，氨氮為其重要評估項目之一，故仍模擬氨氮水質項目。另外本研究亦模擬完整之氮循環系列，但在率定上僅有氨氮水質項目可供使用，至於亞硝酸鹽、硝酸鹽之相關生化反應係數則採取國內相關文獻之合理值 (許銘熙等人, 1998a; 許銘熙等人, 1998b; 許銘熙等人, 1999)。模式中總磷的部分，分為有機磷及無機磷進行模擬，其率定方法同氮循環之模擬。氮及磷相關的參數及建議值整理如表二所示。

表二 QUAL2E 模式中氮及磷相關參數及建議值

參數	$\beta_3$	$\sigma_4$	$\beta_1$	$\sigma_3$	$\beta_2$
英文名稱	O-N HYDROLYSIS	O-N SETTLING	NH <sub>3</sub> OXIDATION	NH <sub>3</sub> BENTHOS	NO <sub>2</sub> OXIDATION
單位	1/day	1/day	1/day	mg/m <sup>2</sup> -day	1/day
中文名稱	有機氮對氨氮水解 速率常數	有機氮 沉降係數	氨氮之生物氧化 係數	氨氮之底污泥 產生率	硝酸氮 氧化係數
建議值	0.02~0.4	0.001~0.1	0.1~1	-	0.2~2
參數	$\beta_4$	$\sigma_5$	$\sigma_2$		
英文名稱	O-P DECAY	O-P SETTLING	DIS-P BENTHOS		
單位	1/day	1/day	mg/m <sup>2</sup> -day		
中文名稱	有機磷 衰減係數	有機磷 沉降係數	無機磷之底污泥 產生率		
建議值	0.01~0.7	0.001~0.1	-		

二、HEM-2DT 模式

(一)水理動態傳輸模式

HEM-2DT模式推導橫向平均之垂直二維水理基本方程式所依據之基本假設為(1)由於潮汐波屬於長波，故可以用淺水波的理論將壓力設為靜水壓，同時忽略橫向的動量變化；(2)將不可壓縮、非均質流體條件下的三維Navier-Stokes方程式，經橫向積分後可得基本方程式；(3)河渠底床坡度較緩，相對整段河道軸線蜿蜒緩和而 X 軸可取沿深泓線；(4)河床固定，不隨時間改變。此水理動態傳輸模式可用以模擬流場狀況(包括水位、水平縱向流速與垂直方向速度)及鹽分濃度。採用二維直角座標系統，以向河口方向為 X 軸，垂直向上為 Z 軸，則基本方程式如下所示 (Kuo et al., 1991a; Kuo et al., 1991b; Park and Kuo, 1993; Thomann and Mueller, 1987)：

1.橫向平均連續方程式：

$$\frac{\partial(uB)}{\partial x} + \frac{\partial(wB)}{\partial z} = q_p \tag{1}$$

2.由(1)式對垂直方向做積分得：

$$\frac{\partial}{\partial t}(B_\eta \eta) + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-H}^{\eta} (uB) dz = q \tag{2}$$

3.橫向平均動量方程式：

$$\frac{\partial(uB)}{\partial t} + \frac{\partial(uBu)}{\partial x} + \frac{\partial(uBw)}{\partial z} = -\frac{B}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (A_x B \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z B \frac{\partial u}{\partial z}) \tag{3}$$

4.流體靜壓方程式：

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g \frac{\partial \eta}{\partial x} + g \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz \quad (4)$$

5.橫向平均鹽分質量守衡方程式：

$$\frac{\partial (sB)}{\partial t} + \frac{\partial (sBu)}{\partial x} + \frac{\partial (sBw)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x B \frac{\partial s}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z B \frac{\partial s}{\partial z}) + S_o \quad (5)$$

6.狀態方程式：

$$\rho = \rho_o (1 + ks) \quad (6)$$

式中， $t$  為時間； $q_p$  為單位面積之側流量； $q$  為單位河川長度之側流量； $\eta$  為自由水面高於平均海平面之高度； $u$  與  $w$  分別表示在  $x$  及  $z$  方向之橫向平均速度； $s$  為橫向平均鹽分濃度； $B$  及  $B_\eta$  分別表示河寬及自由水面寬度； $H$  為平均海平面下總深度； $P$  與  $\rho$  分別表示壓力及水密度； $g$  為重力加速度； $A_x$  與  $A_z$  分別表示  $x$  及  $z$  方向之紊流黏滯係數； $K_x$  與  $K_z$  分別表示  $x$  及  $z$  方向之紊流擴散係數； $S_o$  為鹽分之生成或消失項； $\rho_o$  為淡水密度及  $k$  為密度與鹽分濃度之相關係數 ( $k = 7.5 \times 10^{-4} \text{ ppt}^{-1}$ )。

於方程式(3)及(5)式中之垂直混合係數  $A_z$  與  $K_z$  採用 Munk-Anderson (1948) 公式修正後之紊流閉合模式，如下列公式所示(Dobbins, 1964; Bowie et al., 1985; Brown and Barnwell, 1987)：

$$A_z = \alpha Z^2 (1 - \frac{Z}{h})^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| (1 + \beta R_i)^{-\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$K_z = \alpha Z^2 (1 - \frac{Z}{h})^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| (1 + \beta R_i)^{-\frac{3}{2}} \quad (8)$$

式中， $Z$  為離水面之距離； $h$  為總水深 ( $= \eta + H$ )； $R_i$  為理查森數 (Richardson number)； $\alpha$  及  $\beta$  為待檢定之參數。

(二)水質動態傳輸模式

水質動態傳輸模式係根據橫方向平均質量守衡，其基本方程式，如下所示：

$$\frac{\partial (CB)}{\partial t} + \frac{\partial (CBu)}{\partial x} + \frac{\partial (CBw)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x B \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z B \frac{\partial C}{\partial z}) + BS_i + BS_e \quad (9)$$

式中， $C$ ：橫向平均水質濃度 ( $ML^{-3}$ )； $S_i$ ：內在生成或消失項 ( $ML^{-2}T^{-1}$ )； $S_e$ ：外在生成或消失項 ( $ML^{-2}T^{-1}$ )。

表三為與  $CBOD$  及  $DO$  有關之係數，表四為與氮有關之係數，表五為與磷相關之係數，表六為與光合性浮游生物 ( $Chl$ ) 相關之係數 (Thomann and Mueller, 1987; Kuo et al., 1991a; Kuo et al., 1991b; Park and Kuo, 1993)。

本模式以兩時間段交錯格網有限差分法 (Finite Difference Method) 對各水質變數進行求解，可得  $x-z$  方向水質變數之時變解。本模式以有限差分法並在空間中劃分均勻網格來求解，模式中格網系統之幾何形狀及格子內之變數位置如圖一所示 (許銘熙等人，1998a；許銘熙等人，1998b；許銘熙等人，1999)。

$\eta$  定義在網格系統中每個分段之中線處，而  $s, B, \rho, p$  及  $C$  均定義在網格中心點。變數  $A_z, K_z$  及  $w$  均定義在每個網格底部之中點。變數  $A_x, K_x$  及  $u$  則分佈於網格左邊中點。二維模式之幾何形狀是以每個網格中心深度處之寬度來描述，一個典型之橫斷面如圖二所示 (許銘熙等人，1998a；許銘熙等人，1998b；許銘熙等人，1999)。

表三 與 *CBOD* 及 *DO* 有關之係數

係數之中文名稱	代號	建議之值
20°C 時 <i>CBOD</i> 衰減速率	$K_c(20)$	0.1 day <sup>-1</sup>
<i>CBOD</i> 衰減速率溫度校正係數	$\theta_8$	1.047
<i>CBOD</i> 底泥通量的半飽和濃度	$K_{DO}$	0.5mg/L
<i>CBOD</i> 沉降速率	$K_{BOD}$	0.0 cm.day <sup>-1</sup>
底泥需氧量	<i>SOD</i>	2.5-4.0 g.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup>
比例常數	$K_{ro}$	393
<i>DO</i> 再曝氣係數之溫度校正係數	$\theta_9$	1.024

表四 氮之相關係數

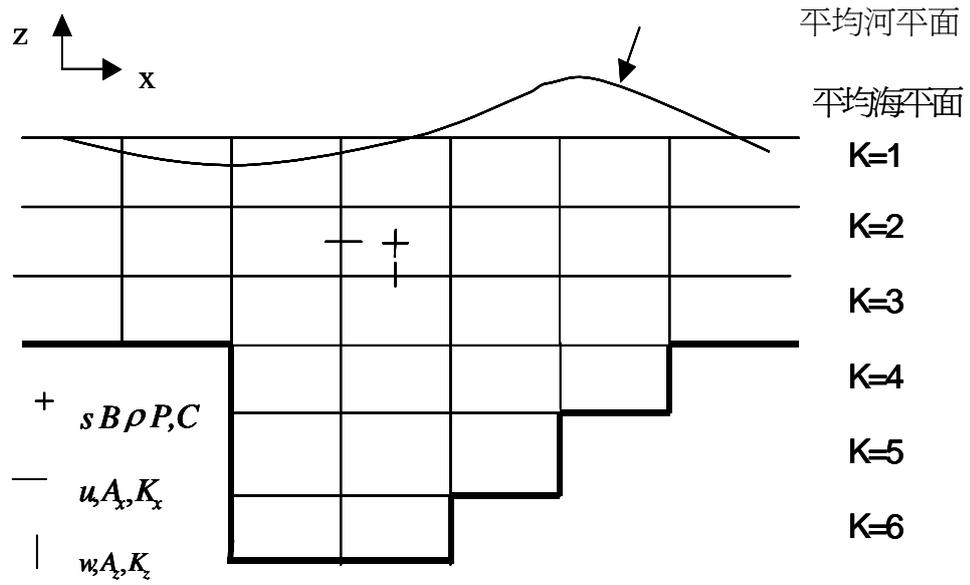
係數之中文名稱	係數之代號	檢定值
20°C 之氮化速率	$K_{n12}(20)$	0.04mg/L.day
氮化速率溫度校正係數	$\theta_4$	1.04
氮化速率之半飽和濃度	$K_{h12}$	1.0mg/L
有機氮沉降速率	$K_{n11}$	8.0cm.day <sup>-1</sup>
20°C 之硝化速率	$K_{n23}(20)$	0.3mg/L.day
硝化速率溫度校正係數	$\theta_5$	1.04
硝化速率之半飽和濃度	$K_{h23}$	1.0mg/L
硝化作用氧限制下之半飽和濃度	$K_{nit}$	2.0mg/L
20°C 之脫硝速率	$K_{n33}(20)$	0.35day <sup>-1</sup>
脫硝速率溫度校正係數	$\theta_6$	1.045
脫硝作用半飽和濃度	$K_{h33}$	0.5mg/L
新陳代謝後產生氮轉成有機氮比	$F_n$	0.75
有機氮底泥通量	BenN1	0.0g.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup>
氨氮底泥通量	BenN2	0.05g.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup>
硝酸-亞硝酸態氮之底泥通量	BenN3	0.0g.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup>

表五 磷之相關係數

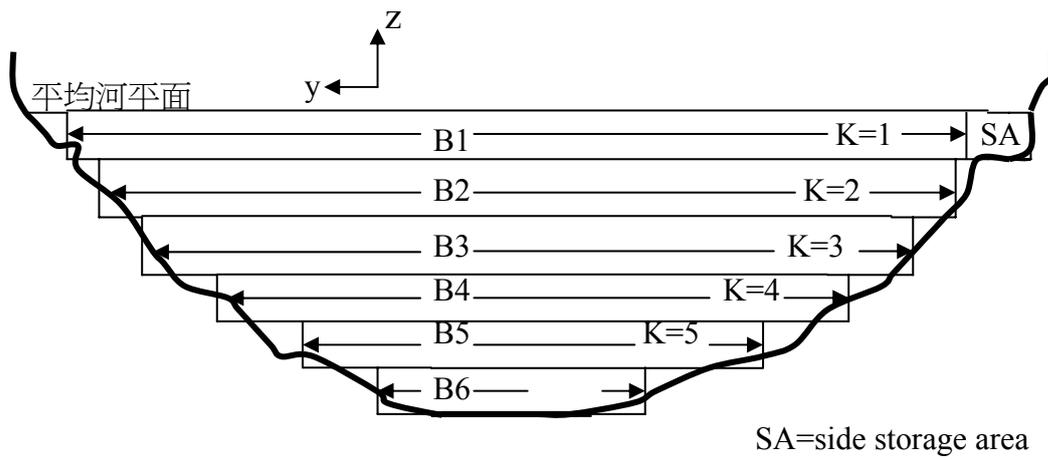
係數之中文名稱	係數之代號	檢定值
20°C之礦化速率	$K_{p12}(20)$	0.06 mg/L.day
礦化作用溫度校正係數	$\theta_7$	1.04
礦化速率之半飽和濃度	$K_{hp12}$	1.0mg/L
有機磷沈降速率	$K_{p11}$	0.0 cm.day <sup>-1</sup>
新陳代謝後產生磷轉成有機磷比	$F_p$	0.55
無機磷沈降速率	$K_{p22}$	0.0cm.day <sup>-1</sup>
有機磷底泥通量	BenP1	0.0g.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup>
無機磷底泥通量	BenP2	0.0-0.005g.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup>

表六 光合性浮游生物(*Chl*)之相關係數

係數之中文名稱	係數之代號	檢定值
浮游藻類碳與葉綠素比	$a_c$	0.05 mg C/ $\mu$ g Chl
浮游藻類中氮與葉綠素值比	$a_n$	0.007 mg N/ $\mu$ g Chl
浮游藻類中磷與葉綠素比	$a_p$	0.001 mg P/ $\mu$ g Chl
被消費之浮游藻類循環比	$a_r$	1.0
光合作用	PQ	1.0 mole O <sub>2</sub> /mole C
呼吸作用	RQ	1.33 mole CO <sub>2</sub> /mole O <sub>2</sub>
無機氮之半飽和濃度	$K_{mn}$	0.025 mg/l
無機磷之半飽和濃度	$K_{mp}$	0.001 mg/l
20°C下之最佳生長速率	$K_{gr}$	2.0 day <sup>-1</sup>
生長速率溫度校正係數	$\theta_1$	1.066
最佳太陽輻射率	$I_s$	250 langleys/day
由自行遮蔽之光源消失	$K_{e,chl}$	0.00018 l $\mu$ g <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup>
光合性浮游藻類沈降率	$K_{chl}$	0.0 cm day <sup>-1</sup>
20°C光合性浮游藻類呼吸率	R(20)	0.17 day <sup>-1</sup>
呼吸率溫度校正係數	$\theta_2$	1.08
20°C光合性浮游藻類死亡率	P(20)	0.02 day <sup>-1</sup>
死亡率溫度校正係數	$\theta_3$	1.0



圖一 格網系統變數位置示意圖



SA=side storage area

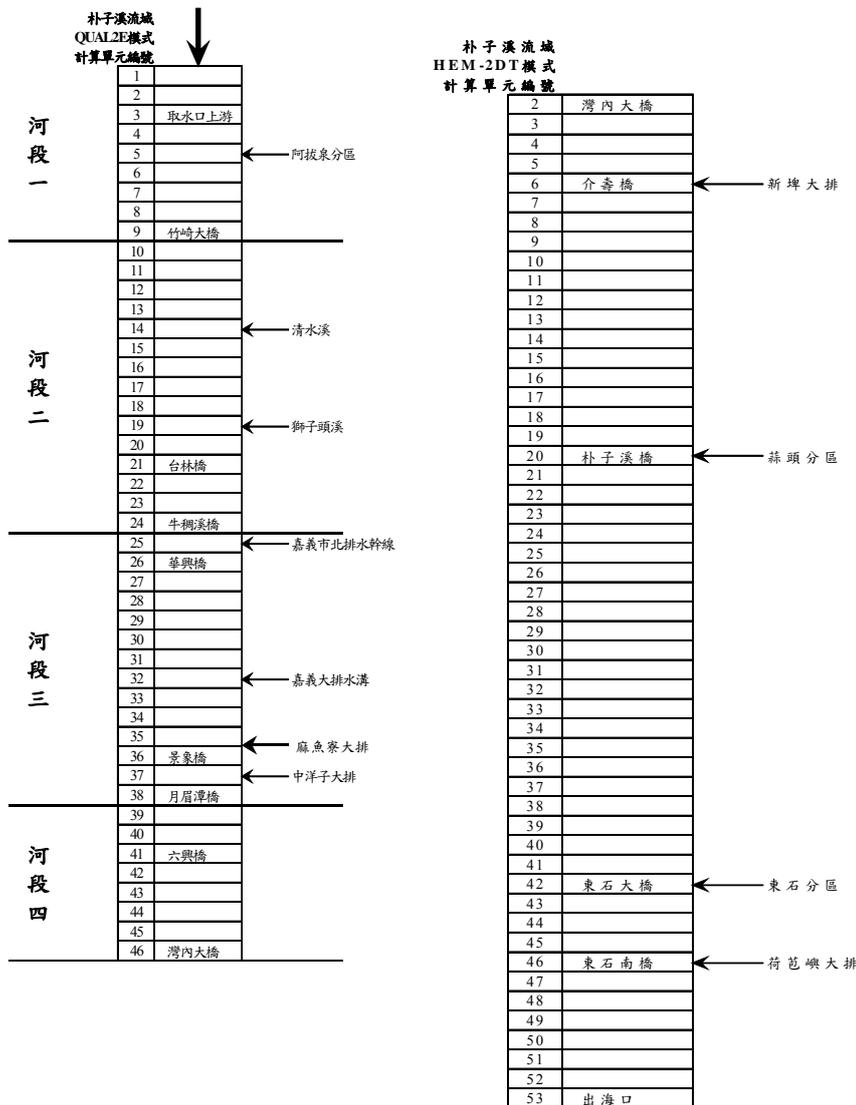
圖二 典型河川斷面圖

參、結果

一、水質模式之建立及應用

(一)模擬河段劃分

本研究模擬之朴子河流域水體範圍為朴子溪出海口至其上游約71公里處。根據朴子溪民國85年實測大斷面資料顯示，距離出海口約26公里處灣內大橋之河床已高於平均海平面約1公尺之多。因此在模擬河段的劃分上，乃以灣內大橋為分界，以上河段以QUAL2E模式進行水理、水質分析演算，以下河段則以HEM-2DT模式進行模擬。



圖三 朴子溪流域水質模式計算單元圖

QUAL2E模式之計算方式是將整個流域依水理特性切割成若干河段，再將每一個河段分成等間距之計算元素，並假設在相同河段內之元素具有相同之水力特

性及生物化學反應參數。HEM-2DT模式演算時則需先將河川實際斷面、水深等予以規則化，以利模式之輸入，每一個河段皆依其深度變化，在Z軸(垂直)方向分層，再依深度決定該層之河寬。爲了要使朴子河流域能適用於QUAL2E模式之應用，參考環保署「朴子河流域水質改善曝氣設施設置評估規劃」報告(行政院環保署 (2002a)，整理朴子溪主流及上游牛稠溪各河道斷面的水力特性，包含曼寧粗糙係數等資料，再參考水體分類，根據朴子河流域之水質與水理特性，將朴子溪自距河口71公里處至灣內大橋(距河口約26公里)處共分成四個河段，各河段內以一公里爲計算元素，元素由上游往下游方向編號，共有46個計算元素，共有6個排入點。灣內大橋以下至出海口之河段，則利用民國85年之實測大斷面資料予以規則化以利HEM-2DT模式演算，並針對朴子河流域所劃分之模擬河段及其編號如圖三所示。

## 二、參數說明及模式檢定

### (一)QUAL2E模式參數說明

QUAL2E模式中，以流速V、水深H與流量Q之關係式，表示各河段之水理狀況。表七所列即爲朴子溪各河段河況係數，主要參考自環保署 (2002b)。爲了使QUAL2E模式能符合朴子溪之河川特性以進行水質模擬工作，乃根據流域中所推估之污染排放量，配合環保署於朴子河流域在民國89年至91年枯水期間(11月、12月及次年1月)的水質資料，進行相關參數之率定。朴子河流域各集污區之污染流達量如表八所示 (環保署，2002b)。流域中目前主要水質測站之生化需氧量、溶氧、氨氮及總磷的監測資料詳列如表九所示 (嘉義縣環保局，2004)。

在模擬水溫方面，高溫時微生物分解有機物速率較快，且水體再曝氣作用及消化作用較大，對泥底耗氧作用影響亦較大，此時水體將處於最惡劣狀態。根據本研究對環保署於民國89年至91年枯水期(11月、12月及次年1月)的水質資料進行分析的結果顯示，各月份之平均水溫約爲22.6oC，因此模擬水溫取22.6 oC。由於本研究之水質模式主要模擬DO、BOD5、NH3-N及TP四項水質參數，DO與BOD5模擬之主要參數包括祛氧係數、再曝氣係數及沉降係數；NH3-N模擬之主要參數包括有機氮分解速率、有機氮沉降速率、氨氧化速率及亞硝酸氧化速率；TP模擬之主要參數包括有機磷衰減係數及沉降係數、及無機磷底污泥產生率。

模式模擬的方法爲先針對流量進行率定，待水理部分流量率定完成，即可進行水質率定。水質部分之各水質項目率定順序，則根據水質參數相互關係進行考量，由於本模擬中並未納入藻類，因此氨氮及總磷將不受藻類影響，而總磷除與藻類相關外，與其他水質項目並無關連，因此首先進行總磷率定，率定參數爲有機磷衰減係數及沉降係數、及無機磷底污泥產生率。其次，氨氮衰減將消耗溶氧，因此乃對氨氮進行參數率定，率定參數爲有機氮分解速率、有機氮沉降速率、氨氧化速率及亞硝酸氧化速率。而後，生化需氧量分解亦消耗溶氧，待BOD5之參數率定完成後，最後再針對DO之參數進行率定，率定參數結果如表十所示。

表七 QUAL-2E 各河段水理參數輸入資料

	流速常數 a	流速指數 b	水深常數 c	水深指數 d	粗糙係數 n
河段一	0.831	0.446	0.591	0.557	0.040
河段二	0.680	0.661	0.250	0.879	0.034
河段三	0.500	0.737	0.264	0.720	0.032
河段四	0.320	0.813	0.278	0.561	0.030
河段五	0.0016	1.000	0.177	1.000	0.028

表八 朴子河流域內各集污區污染流達量（污染量單位：kg/day）

集污區名稱	BOD <sub>5</sub>	流達率	TN	流達率	NH <sub>3</sub>	流達率	TP	流達率
荷苞嶼大排	777.76	0.2	505.02	0.2	226.04	0.2	56.93	0.1
東石分區	263.1	0.3	237.92	0.4	101.6	0.4	14.43	0.1
蒜頭分區	134.78	0.2	114.66	0.3	51.33	0.3	13.5	0.15
新埤大排	562.68	0.3	750.6	0.9	372.87	0.9	87.15	0.5
中洋子大排	730.04	0.4	712.62	0.9	380.79	0.9	81.2	0.5
嘉義大排水溝	4471.65	0.5	1563.28	0.8	888.16	0.8	210.8	0.5
嘉義市北排水幹線	2276.16	0.6	372.9	0.5	221.9	0.5	49.62	0.3
獅子頭溪	625.68	0.3	347.7	0.3	154.35	0.3	26.35	0.1
清水溪	413.26	0.2	79.9	0.1	42.23	0.1	15.9	0.1
阿拔泉分區	19.01	0.1	7.71	0.1	4.08	0.1	1.26	0.1
總計	10274.12		4692.31		2443.35		557.14	

表九 朴子河流域枯水期主要水質測站濃度一覽表（單位：mg/L）

項目	竹崎大橋	松竹大橋	牛稠溪橋	月眉潭橋	介壽橋	朴子溪橋	東石南橋
溶氧	最大值	10.00	9.80	5.40	1.90	3.20	10.30
	最小值	8.60	6.40	0.00	0.60	0.80	0.80
	平均值	9.20	8.11	3.05	1.44	2.40	3.66
BOD <sub>5</sub>	最大值	1.10	1.80	102.00	18.90	17.20	18.80
	最小值	1.00	0.50	8.10	7.10	5.20	3.30
	平均值	1.03	0.98	30.89	13.30	8.79	8.54
氨氮	最大值	0.14	0.18	17.60	19.50	72.30	22.40
	最小值	0.06	0.03	0.97	10.90	9.54	9.88
	平均值	0.10	0.10	5.75	15.25	23.57	17.72
總磷	最大值	0.06	0.14	0.68	2.17	1.45	1.10
	最小值	0.02	0.02	0.13	0.43	0.24	0.31
	平均值	0.04	0.07	0.41	1.19	0.85	0.57

表十 朴子溪 QUAL2E 模式各模擬水質參數值

	溶氧		生化需氧量	
	再曝氣係數 $K_2$ (1/day)	底泥耗氧率 $K_4$ (mg/m <sup>2</sup> -day)	祛氧係數 $K_1$ (1/day)	沉降係數 $K_3$ (1/day)
河段一	1.2	0	0.23	0.05
河段二	1.0	3.0	0.70	0.05
河段三	1.0	3.0	1.20	1.20
河段四	1.0	2.5	1.00	1.50
	有機氮衰減係數 (1/day)	有機氮沉降係數 (1/day)	氨氮氧化速率 (1/day)	氨氮底泥產生率 (mg/m <sup>2</sup> -day)
河段一	0.1	0	0.1	0
河段二	0.1	0	0.1	500
河段三	0.1	0	0.1	750
河段四	0.1	0	0.1	1000
	亞硝酸氮氧化速率 (1/day)	有機磷衰減係數 (1/day)	有機磷沉降係數 (1/day)	無機磷底泥產生率 (mg/m <sup>2</sup> -day)
河段一	2	0.1	0.1	0
河段二	2	0.1	0.1	0
河段三	2	0.1	0.1	0
河段四	2	0.1	0.1	0

(二)HEM-2DT模式參數說明

HEM-2DT模式可模擬感潮河川瞬時水理及水質情況，在上游邊界邊界可輸入日流量，下游邊界則可輸入每小時水位或各主要分潮之振幅及相位角以進行水理演算，在水理模式部分需要檢定之參數為曼寧係數( $n$ )，因曼寧係數會影響水面高程與流速。水質模式部分可輸入上游及下游邊界水質濃度，配合點源及非點源污染量進行水質模擬。朴子溪HEM-2DT模式枯水期模擬，在上游邊界(即灣內大橋處)之流量與水質濃度條件，乃輸入QUAL2E模式枯水期模擬中最下游計算單元之模擬結果，下游邊界水位則利用布袋漁港實測潮位數據經調和分析之結果分離出五個主要的分潮振幅與相位角，各分潮之振幅與相位角列於表十一，下游邊界水質濃度條件則根據環保署於朴子溪口自民國86年7月起不定期觀測所得之水質狀況予以設定，如表十二所示。由於上下游邊界條件及各項污染量皆不隨時間改變，僅有下游邊界水位隨潮汐變動，因此待模式達到平衡狀態(equilibrium state)後，則每個潮周之模擬結果相似。

表十一 朴子溪 HEM-2DT 模式枯水期水質模擬之下游邊界水位

潮別	振幅 (cm)	相位角 (經度)
M <sub>2</sub>	63.0	1.3090
S <sub>2</sub>	16.0	1.8680
N <sub>2</sub>	12.0	0.9599
K <sub>1</sub>	21.0	2.8099
O <sub>1</sub>	19.0	2.1991

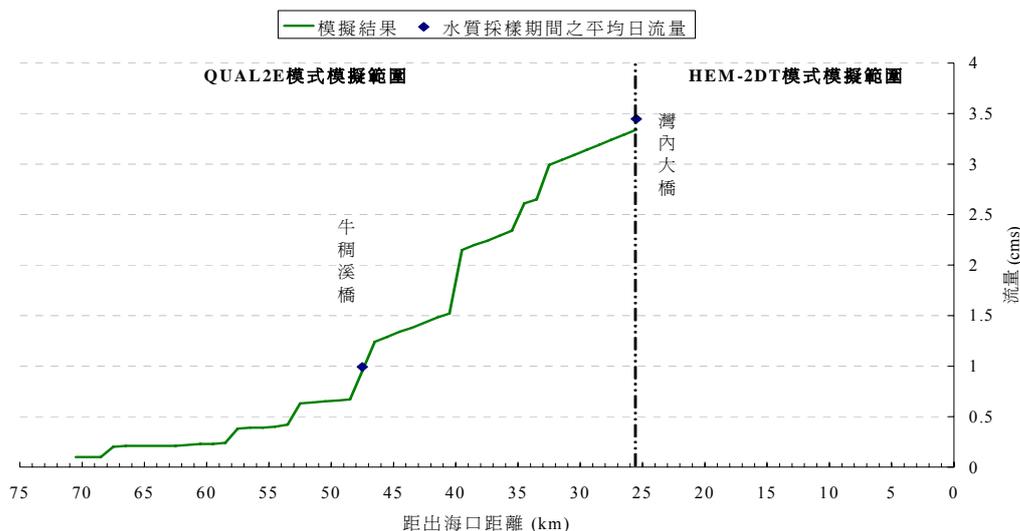
朴子河流域僅設有有兩處水文站：牛稠溪橋水文站及灣內大橋水文站，在HEM-2DT模式之模擬區段內並無相關實測水文資料可提供水理模式進行檢定。而枯水期模擬主要目的乃於檢視此兩數值模式在一般情形下，是否能夠得到足以代表模擬區域內之水質情形，因此本研究團隊假定在HEM-2DT模式上游邊界輸入枯水期之平均流量，下游邊界輸入根據實測水位資料調和分析所得之五個分潮參數，進行模擬所得之水理情形，應可大致符合現場狀況。HEM-2DT水質模式參數檢定部分則輸入各水質參數之一般建議值，進行演算後，再依據實測水質狀況與日平均水質濃度模擬結果做適當之調整。

表十二 朴子溪 HEM-2DT 模式枯水期水質模擬之下游邊界水質濃度

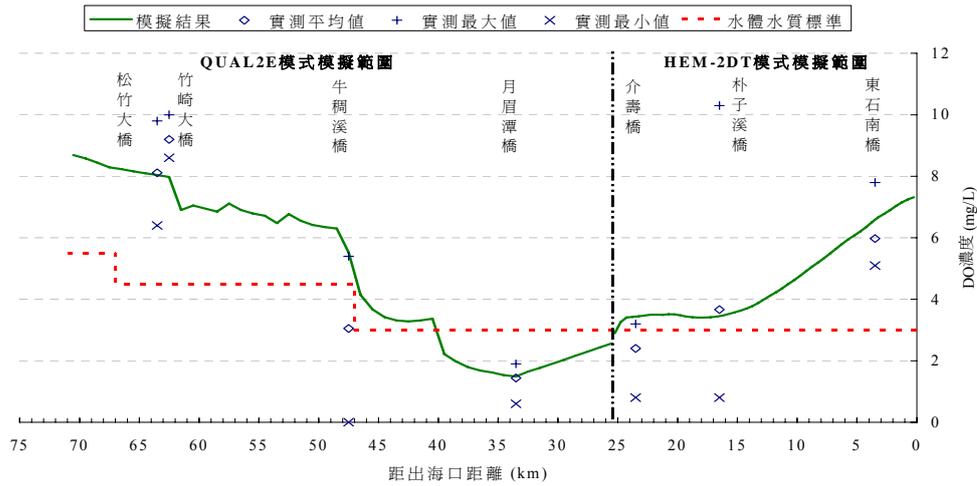
	水質濃度
溶氧	7.45 mg/L
碳生化需氧量	1.53 mg/L
有機氮	0.05 mg/L
氨氮	0.16 mg/L
硝酸-亞硝酸態氮	0.15 mg/L
有機磷	0.08 mg/L
無機磷	0.05 mg/L
葉綠素	6.32 µg/L

### (三) 枯水期模擬檢定結果

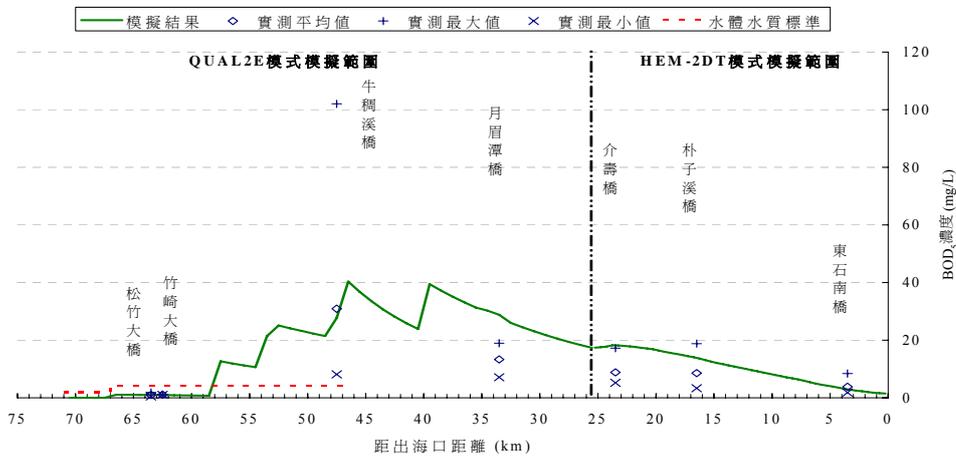
朴子河流域模式檢定結果之流量，以及全河段水質模擬之DO、BOD5、NH3-N及TP濃度隨距離之變化情形如圖四至圖八所示。



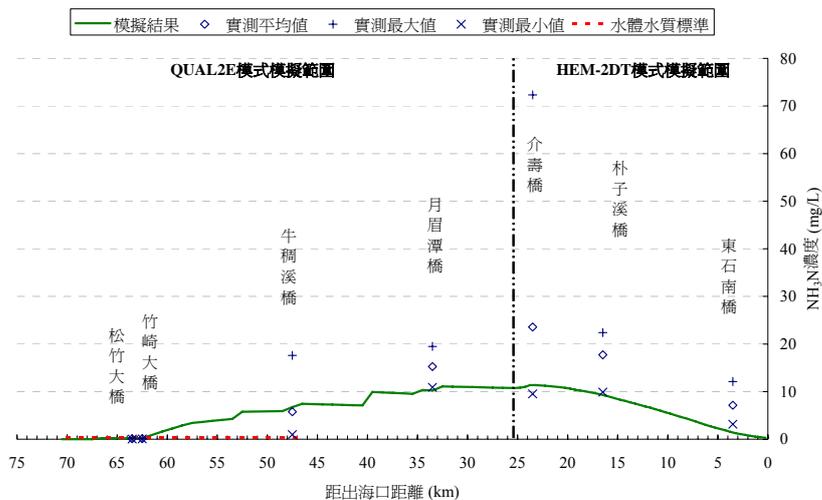
圖四 朴子河流域模式檢定河川流量隨距離之變化情形



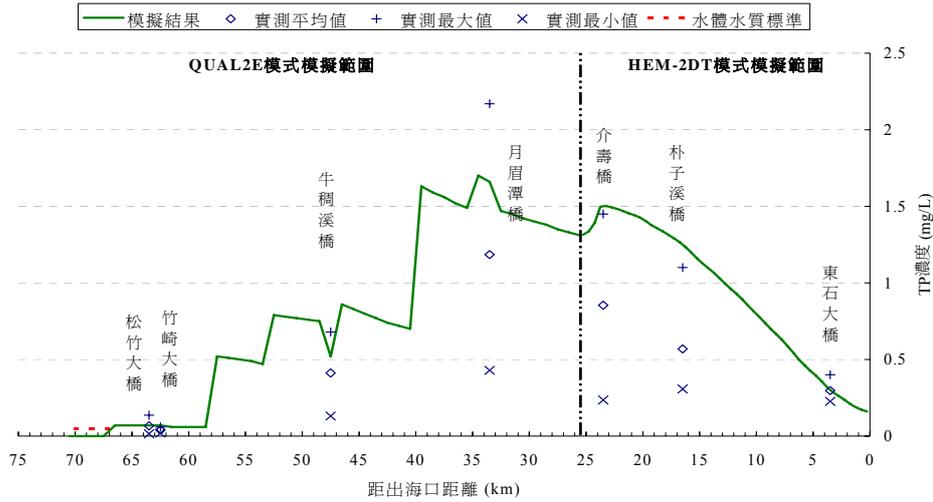
圖五 朴子溪流域模式檢定水質隨距離之變化情形—溶氧



圖六 朴子溪流域模式檢定水質隨距離之變化情形—生化需氧量



圖七 朴子溪流域模式檢定水質隨距離之變化情形—氨氮



圖八 朴子河流域模式檢定水質隨距離之變化情形—總磷

#### 肆、討論

由圖四流量模擬結果中標示有牛稠溪橋及灣內大橋兩水文測站，於所選定之枯水期水質採樣日之日流量的平均值，由圖可知，以表七之水理參數進行QUAL2E模式模擬所得之流量隨距離變化情形，可符合此枯水期之平均流量狀況。水質模擬結果圖中並標示環保署民國89年至91年枯水期，竹崎大橋、松竹大橋、牛稠溪橋、月眉潭橋、介壽橋、朴子溪橋與東石南橋等七個測站實測水質資料之最大值、最小值及平均值。由圖五朴子溪水質溶氧隨距離之變化情形看來，牛稠溪橋、月眉潭橋及朴子溪橋之溶氧實測值，會有低於水質標準的情形發生，其中尤以月眉潭橋之溶氧情形最差，實測最大值亦低於水質溶氧標準。

由圖六朴子溪水質生化需氧量隨距離之變化情形看來，牛稠溪橋之實測最大值曾高達102 mg/l，最小值8.10 mg/l亦高於其他測站之最小值，顯示牛稠溪橋附近有含高濃度生化需氧量之廢污水排入河道，進而影響河川水質。若配合圖七來看，溶氧在竹崎大橋至牛稠溪橋之間有急遽下降的情形發生，亦顯示此河段有大量消耗溶氧之物質進行反應。根據圖七朴子溪水質氨氮隨距離之變化情形，牛稠溪橋以下之氨氮濃度極高，尤其是月眉潭橋至朴子溪橋之間的河段。而圖八朴子溪水質總磷隨距離之變化情形則顯示同樣的分佈趨勢。

#### 伍、結論與建議

1. 朴子溪位於牛稠溪橋河段之生化需氧量實測值普遍較高，顯示該河段常有含高濃度生化需氧量之廢污水排入河道而影響河川水質；在竹崎大橋至牛稠溪橋間河段之溶氧有急遽下降的情形發生，亦顯示此河段有大量消耗溶氧之物質進行反應。
2. 朴子溪水質之氨氮部份，也以牛稠溪橋以下河段之氨氮濃度較高，尤其是月

眉潭橋至朴子溪橋之間的河段；朴子溪水質之總磷部份，也顯示同樣的分佈趨勢。

3. 由檢定結果顯示，無論是 DO、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N 或 TP 模擬值均可反應出朴子溪河川水質變化趨勢，且多落在實際監測值間，顯示模擬之結果良好，足以反應朴子溪流域之水質狀況，對於未來本流域水質改善之對策擬定及評估，QUAL2E 及 HEM-2DT 水質模式絕對可以提供可靠之相關資訊以供方案研擬與決策分析，為一極有力之數值輔助工具。
4. 限於研究經費，建議後續能持續進行 HEM-2DT 之模式驗證，並分水理模式及水質模式兩部分，以使本研究模式建立之結果更為完善。

### 參考文獻

1. 台灣省水利局 (1998)。朴子溪(含牛稠溪)治理規劃檢討報告。台灣省水利局。
2. 行政院環保署 (1993)。北港溪及朴子河流域污染整治規劃。行政院環保署，台北市。
3. 行政院環保署 (2002a)。朴子河流域水質改善曝氣設施設置評估規劃。行政院環保署，台北市。
4. 行政院環保署 (2002b)。朴子河流域非點源污染分析調查及整治規劃。行政院環保署，台北市。
5. 許銘熙、郭義雄、郭振泰、柳文成 (1998a)。淡水河感潮段垂直二維水理與水質動態傳輸模式(一)。行政院國科會專題計畫研究成果報告。
6. 許銘熙、郭振泰、郭義雄、柳文成 (1998b)。淡水河系潮流、河口環流與鹽分佈之研究(一)。國立臺灣大學水工試驗所研究報告239號，台北市。
7. 許銘熙、郭振泰、郭義雄、柳文成 (1999)。淡水河系潮流、河口環流與鹽分佈之研究(二)。國立臺灣大學水工試驗所研究報告273號，台北市。
8. 嘉義縣環保局 (2004)。嘉義縣河川水質改善評估與規劃工作計畫。嘉義縣環保局，嘉義縣。
9. 嘉義縣環境保護局 (2001)。朴子河流域污染整治實施計畫。嘉義縣環保局，嘉義縣。
10. 嘉義縣環境保護局 (2002)。嘉義縣河川水體水質及地下水水質監測工作計畫。嘉義縣環保局，嘉義縣。
11. Bowie, G.L., Mills, W.B., Porcella, D.B., Campbell, C.L., Pagenkopf, J.R., Rupp, G.L., Johnson, K.M., Chan, P.W.H., Gherini, S.A. and Chamberlin, C.E. (1985). *Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling* (second edition), EPA/600/3-85/040. Environmental Research Lab., Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency (EPA), Athens, GA.

12. Brown, L.C. and Barnwell, T.O. (1987). *The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual*, EAP/600/3-87-700, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.
13. Dobbins, W. E., 1964. BOD and oxygen relationship in streams. *J. Sanit. Engrg. Div.*, ASCE, 90(SA3).
14. Kuo, A.Y., Park, K. and Moustafa, M.Z. (1991a). Spatial and temporal variabilities of hypoxia in the Rappahannock River, Virginia. *Estuaries*, 14(2), p. 113-121.
15. Kuo, A.Y., Neilson, B.J. and Park, K. (1991b). A modelling study of water quality of the upper tidal Rappahannock River. *SRAMSOE*, 314, p. 164.
16. Munk, W. and Anderson, E. R. (1948). Notes on a theory of the thermocline. *J. Marine Res.*, 7, p. 276.
17. Park, K. and Kuo, A.Y. (1993). A vertical two-dimensional model of estuarine hydrodynamics and water quality. *Spec. Rep. App. Mar. Sci. and Ocean Eng.*, 321, p. 47.
18. Thomann, R.V. and Mueller, J.A. (1987). *Principles of surface water quality modeling and control*. Harper & Row, New York.

# Development and application of hydraulic and water quality models for Pou-Tze Stream Area in Chiayi County

Der-Fong Juang\*, Ming-Chuan Liu\*\*, An-Chin Yeh\*\*\*, Pei-Chu Chen\*\*\*\*

## Abstract

Heavy pollution of Taiwan's rivers have become a public health concern. The river water quality model has often been applied to characterize variances in water quality, understand the river water quality, and to evaluate the efficiency and the objectives of water quality improvement. Since most of the rivers in Taiwan are heavily polluted, Environmental Protection Administration (EPA) has being active in improving river water quality. The establishment of this water quality model can not only be used as a monitoring tool for the achievement of water quality improvement but can also be effectively used to control the variance of water quality. Therefore, the Pou Tze Stream in Chiayi County was selected for this study, and the water quality model was developed using hydraulic and water quality data. This model can then be used for modeling the water quality of Pou Tze Stream.

The Wa-Nei Bridge in Chiayi County was used as the boundary line in the study. The QUAL2E model was applied to the river sections upstream of this bridge, and the HEM-2DT model was used for the river sections downstream of this bridge. The hydraulics and water quality data of this river, which are shown on the website of Taiwan EPA, were collected from the monitoring stations of EPA and the measured data provided by the company cooperating with the EPA. In this study, the water quality modeling was established, assured, and proved. The results of this study can be used for the evaluation of river water quality and for predicting the efficiency of water quality improvement. It is also expected that the water quality model established in this study can be applied in subsequent research studies and practical techniques and serve as a reference in the planning of environmental policies.

Keywords : River pollution, Hydraulic and water quality models, HEM-2DT, QUAL2E

---

\* Associate Professor, Healthcare Administration Department, Mei-Ho Institute of Technology

\*\* Department of Water Pollution Prevention, Environmental Protection Bureau, Chiayi County

\*\*\* General Affairs Bureau, Tainan County Government

\*\*\*\* DHV Planetek Co., L.T.D