

QUAL II 模型의 錦江水系에의 適用
(An Application of the QUAL II Model
to the Keum River System)

崔 興 植 * 李 吉 成 **
Choi, Hung Sik Lee, Kil Seong

Abstract

Temporal and spatial prediction of water quality provides the necessary information to a project planning, design, and model optimization for water quality management in a river system. In this study, the QUAL II model is applied to the Keum River system from the downstream of Dae-Chong dam to the Great Pak-Je bridge.

The advection-dispersion model of water quality based on the material balance and the numerical solution method of the model are presented. The enhancement of the model application is emphasized by comparing the observed and the simulated values of BOD, DO, and water temperature. Through these processes, the water quality states of the Keum River system are evaluated and the deoxygenation rate, the reaeration rate, and Fair value are estimated. Also, the maintenance of the target DO level with the control of the discharge from Dae-Chong dam is discussed.

要 旨

河川에서 水質 시뮬레이션에 의한 時間的, 空間的 水質豫測은 河川 水質管理를 위한 計劃樹立, 設計 및 模型의 最適化에 必要한 資料를 提供해 준다. 本 研究는 大淸댐 下流에서 抹餘百濟大橋에 이르는 錦江水系에서의 QUAL II 模型의 適用에 關한 것이다. QUAL II 模型에서 使用된 物質收支方程式에 根據를 둔 對流-分散模型과 그 數值解析法을 提示하였다. 河川을 따르는 BOD, DO 및 水溫의 시뮬레이션값과 實測값과의 比較分析을 通한 模型의 活用性 提高에 力點을 두었다. 이러한 過程을 通해 錦江에서의 河川水質을 評價하고, 脫酸素 係數, 再曝氣 係數 및 自淨係數의 값을 推定하였다. 또한 大淸댐 放流量 調節에 의한 目標하는 DO의 維持에 對하여 論議하였다.

* 서울大學校 博士過程 (農振公) ** 서울大學校 工科大學 副教授

1. 緒 論

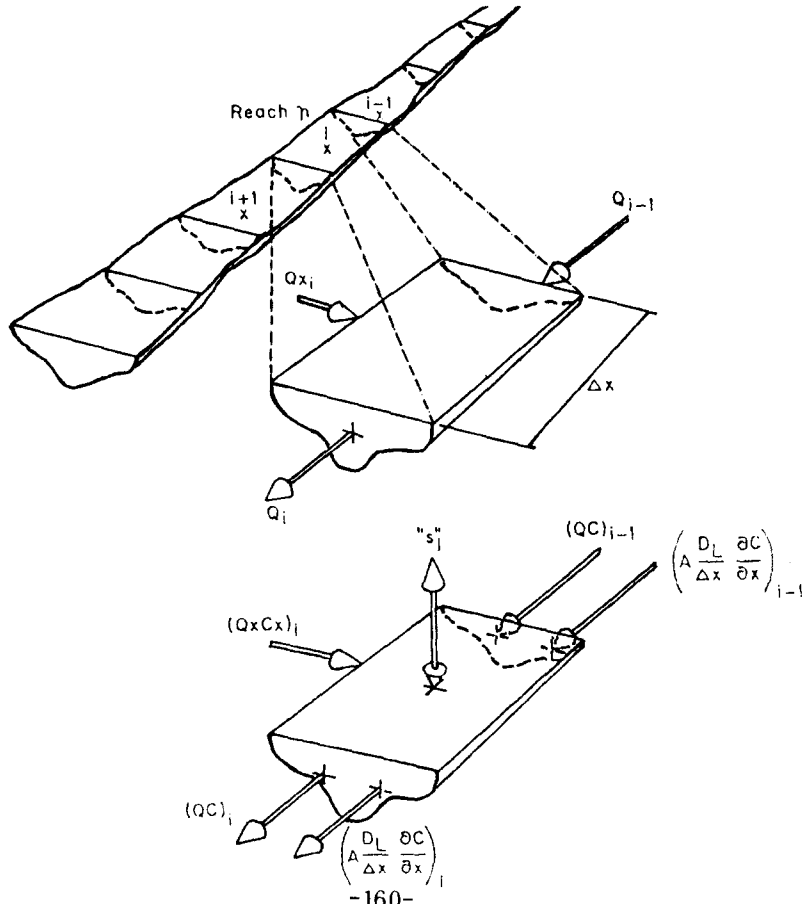
2. 理論的 背景

2.1. 基本方程式 (Material Balance and Mass Transport Equation)

이와 같은 水質項目의 基本方程式은 對流-分散의 質量移動方程式 (Mass Transport Equation) 으로 對流-分散, 水質項目의 反應 및 Source / Sink 의 影響을 考慮한 것으로 다음과 같다. (9,13)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial (A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x})}{A_x \partial x} - \frac{\partial (A_x \bar{U} C)}{A_x \partial x} + \frac{dC}{dt} + \frac{S}{V} \quad \dots \quad (3)$$

Fig. 1 Discretized Stream System (EPA, 1981)



河川水質 解析에서 河川의 길이를 L 이라하면, 初期條件 및 境界條件 은 다음과 같이 表示된다. 19)

$$C(x,0) = C_0 \quad 0 \leq x \leq L$$

$$C(0,t) = C_0^*, \quad \left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=L} = 0$$

2.2. 水質 方程式

1) 生化學的 酸素要求量 (Biochemical Oxygen Demand)

BOD는 아래와 같은 常微分形態로 表示된다.

$$\frac{dL}{dt} = -K_1L - K_2L \quad \dots\dots\dots (4)$$

2) 溶存酸素量 (Dissolved Oxygen)

水中的 酸素量으로 아래와 같은 常微分形態로 表示된다.

$$\frac{dO}{dt} = K_2(O^* - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)A - K_1L - \frac{K_d}{A_x} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2 \quad \dots(5)$$

3) 水溫 (Water Temperature)

水溫의 시뮬레이션은 水質項目의 거의 모든 反應係數에 關與되므로 매우 重要하다. 式(3)에서 C는 Heat Concentration으로 다음과 같은 關係式으로 表示된다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \frac{\partial T}{\partial x})}{A_x \partial x} - \frac{\partial(A_x \bar{U} T)}{A_x \partial x} + \frac{H_N}{\rho c d} \quad \dots\dots\dots (11)$$

이때 水面에서의 純 熱에너지의 傳達 H_N 은 Radiation Exchange, 蒸發 및 傳導에 의한 값으로 다음과 같다.

$$H_N = H_{sn} + H_{an} - (H_b \pm H_c + H_e) \quad \dots\dots\dots (12)$$

2.3. 數値解析

本 模型에 使用된 有限差分法은 式(3)을 첫째로 距離 x에 對해서 對流-分散項을 差分化하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{(AD_L \frac{\partial C}{\partial x})_i - (AD_L \frac{\partial C}{\partial x})_{i-1}}{V_i} - \frac{(\overline{AUC})_i - (\overline{AUC})_{i-1}}{V_i} + \frac{dC_i}{dt} + \frac{S_i}{V_i} \dots\dots\dots (13)$$

여기서 $V_i = A_i \Delta x_i$ 로 河川要素内の 體積이다.

둘째로 濃度傾斜에 對한 距離 x에 對한 差分化와 水質項目 C를 時間 t에 對해서 差分化하면 다음과 같은 式을 얻을 수 있다.

$$\frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} = \left\{ \frac{[(AD_L)_i]C_{i+1}^{n+1} - [(AD_L)_i]C_i^{n+1}}{V_i \Delta x_i} - \frac{[(AD_L)_{i-1}]C_i^{n+1} - [(AD_L)_{i-1}]C_{i-1}^{n+1}}{V_i \Delta x_i} \right\} - \left\{ \frac{Q_i C_{i+1}^{n+1} - Q_{i-1} C_{i-1}^{n+1}}{V_i} \right\} + r_i C_i^{n+1} + P_i + \frac{S_i}{V_i} \dots\dots\dots (14)$$

위의 式(14)를 變數 C_{i+1}^{n+1} , C_i^{n+1} 및 C_{i-1}^{n+1} 에 對해서 整理하면 다음과 같은 式이 된다.

$$a_i C_{i+1}^{n+1} + b_i C_i^{n+1} + c_i C_{i-1}^{n+1} = Z_i \dots\dots\dots (16)$$

또한 支流, 本流가 만나는 合流點에서는 맨 끝지점을 利用하여 다음과 같이 表示된다.

$$a_i C_{i+1}^{n+1} + b_i C_i^{n+1} + c_i C_{i-1}^{n+1} + d_i C_j^{n+1} = Z_i \dots\dots\dots (17)$$

式(16)의 解析方法으로는 Tri-Diagonal 매트릭스로 構成되는 線型方程式으로 Thomas 알고리즘^{8,9)}을 利用하여 풀다.

3. 河川模型 및 資料分析

3.1. 河川模型의 樹立

河川模型의 構成은 錦江上流(大清潭 下流), 甲川과 美湖川의 3개의 汚染源(Head Water)과 2개의 合流點(Stream Junction)을 가지고 있고 河川要素의 構成은 全區間을 1 km 크기의 86 개로 하였다.

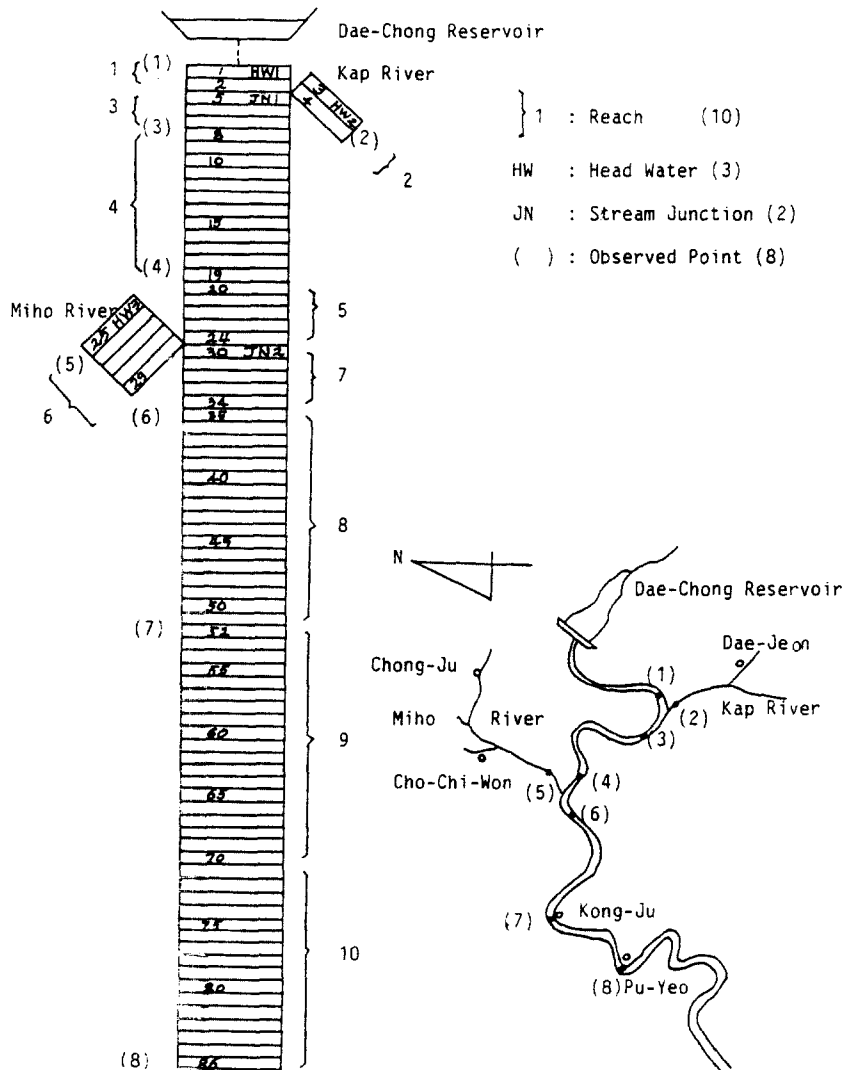


Fig. 2 Discretization of Keum River System

3.2. 資料의 分析

蒐集된 資料는 1982年 3회에 걸쳐 測定한 錦江(I)地區 環境影響評價 調査報告書 中 錦江水質現況에 對한 農業振興公社 資料²⁾로서 BOD 및 DO의 濃度와 水溫(T)이다. 氣象資料는 淸州 測候所 資料로서 平均海面 氣壓, 乾濕球溫度, 平均風速, 水面日射量 및 Cloudness 이다.

Leopold와 Maddock^{10,15)}은 河川에서의 流出은 水面幅과 流量, 平均 水深과 流量 및 平均流速과 流量의 關係式을 아래와 같이 提示하였다.

$$w = aQ^b, \quad d = cQ^f, \quad v = kQ^m$$

Table 5. Seasonal Variations of the Streamflow

Regime	1 (6.2-6.17)			2(7.14-7.31)			3(9.19-10.2)		
	Mean Depth (m)	Mean Velocity (m/sec)	Dis-Charge (m ³ /sec)	Mean Depth (m)	Mean Velocity (m/sec)	Dis-Charge (m ³ /sec)	Mean Depth (m)	Mean Velocity (m/sec)	Dis-Charge (m ³ /sec)
1	0.98	0.12	20.2	0.67	0.11	8.5	1.24	0.16	34.9
2	0.45	0.18	2.9	0.42	0.15	1.1	0.58	0.21	3.5
3	1.29	0.51	23.1	0.70	0.48	9.6	1.32	0.62	38.4
4	1.04	0.32	24.8	0.64	0.25	9.8	1.15	0.42	41.1
5	0.28	0.36	6.5	0.22	0.34	4.6	0.38	0.38	7.2
6	1.07	0.46	31.3	0.61	0.39	14.4	1.28	0.50	48.3
7	0.70	0.29	37.7	0.67	0.24	16.0	0.32	0.32	57.3

*8지점 측정자료는 없음.

Table 6. Regression Results of the Stream flow by Least Square Method

Measuring Point	Mean Depth - Discharge	Mean Velocity - Discharge
1	$d = 0.264 Q^{0.436}$	$v = 0.062 Q^{0.250}$
2	$d = 0.404 Q^{0.211}$	$v = 0.145 Q^{0.257}$
3	$d = 0.246 Q^{0.484}$	$v = 0.318 Q^{0.172}$
4	$d = 0.250 Q^{0.423}$	$v = 0.110 Q^{0.350}$
5	$d = 0.041 Q^{1.087}$	$v = 0.239 Q^{0.227}$
6	$d = 0.117 Q^{0.626}$	$v = 0.225 Q^{0.206}$
7	$d = 0.403 Q^{0.174}$	$v = 0.129 Q^{0.225}$

4. 시뮬레이션 결과

本 研究는 定常流 狀態 흐름에서 BOD, DO 및 水溫의 對流 - 分散에 의한 從方向的 擴散에 對한 시뮬레이션으로 다음과 같은 結果를 얻었다.

4.1. 水 溫

水溫測定과 同一한 期間의 氣象資料에 의한 水溫의 計算結果는 그림 3 에서와 같이 나타났다.

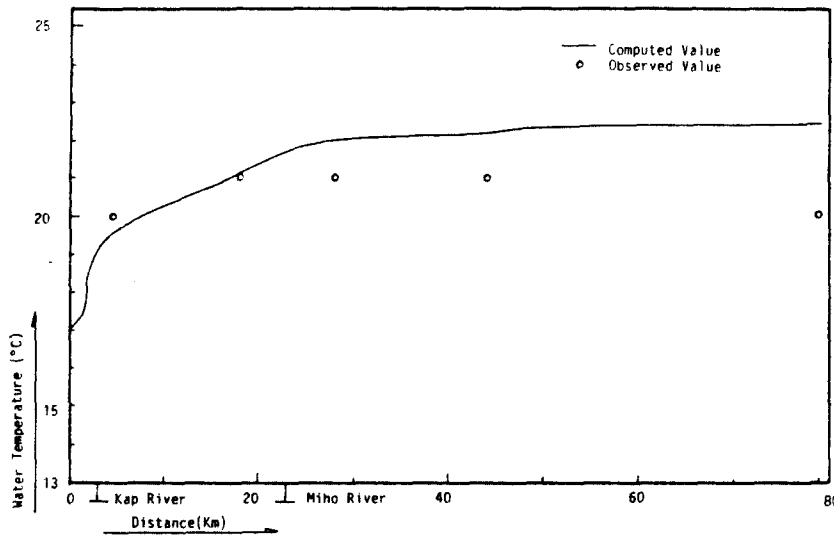


Fig. 3(C) Computed and Observed Water Temperature (Regime 3)

4.2. 脫酸素係數 (K_1) 및 再曝氣係數 (K_2)의 推定

그림 4는 Regime 別 K_1 과 K_2 의 값으로 水溫에 對해서 補定된 값이다.

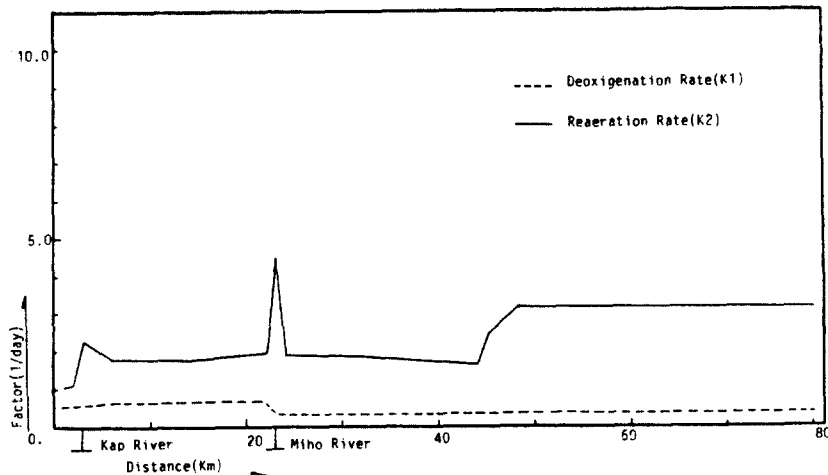


Fig.4(C) Deoxygenation Rate K_1 and Reaeration Rate K_2 (Regime 3)

4.3. BOD-DO 濃度 및 河川水質 基準

上流 汚染源 (Head Water) 에 의한 錦江에서 河川을 따르는 BOD, DO 및 DO 飽和濃度는 그림 5 에서와 같이 나타났다.

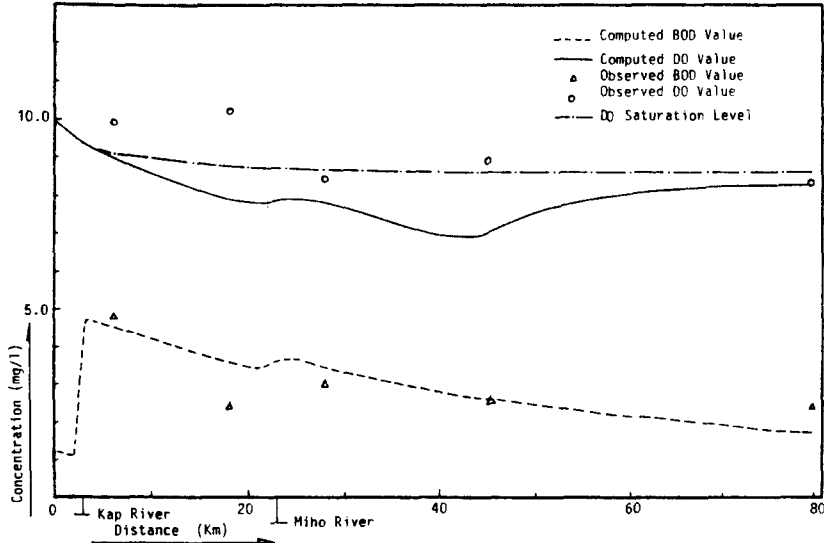


Fig. 5(c) Computed and Observed BOD-DO Concentration (Regime 3)

Table 9. Stream Standard for BOD and DO Values 資料: 環境保全法

等級	I	II	III	IV	V	備考
利用 目的 項目	上水源水 1 級	上水源水 2 級 水産用水 1 級	上水源水 3 級 水産用水 2 級 工業用水 1 級	工業用水 2 級 農業用水	工業用水 3 級	
BOD	1 이하	3 이하	6 이하	8 이하	10 이하	
DO	7.5 이상	5 이상	5 이상	2 이상	2 이상	

4.4. 自淨係數 (f)

脫酸素係數 K_1 과 再曝氣係數 K_2 와의 比로서 $f = K_2/K_1$ 값은 Fair 值 또는 自淨係數 로 불리어진다.

Table 10. Fair Values for Reaches

Reach Regime	Reach									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2.48	7.06	3.99	3.59	3.48	15.00	9.02	6.92	9.24	9.24
2	3.05	6.56	4.95	4.80	4.16	25.86	12.55	10.55	7.93	7.93
3	1.96	7.36	3.29	2.88	2.95	18.34	7.32	5.34	9.29	9.29

5. 結 論

本 研究에서는 大淸澗 下流에서 扶餘까지의 錦江水系에서 QUAL II 模型의 適用을 通해 i) 河川水質處理計劃의 樹立에 必要한 應用性 있는 數學模型을 提示하였고 ii) 制限된 資料를 通해서 이긴 하지만 河川을 따르는 水質을 시뮬레이션하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

① 平水時인 Regime 1,3 에서 甲川에서의 都市下水에 의한 높은 BOD의 流入은 44 km 地點까지 DO 濃度를 低下시키다가 그 下流로는 서서히 回復되어 거의 飽和濃度에 가까워진다.

② 渴水時인 Regime 2 에서의 DO 濃度는 平水時보다 떨어짐을 알 수 있다. 水資源 利用目的別 水質等級은 40 km地點을 境界로 上流는 III 等級, 그下流는 II 等級으로 區分된다.

③ 脫酸素係數 K_1 의 값은 美湖川과 合流點을 境界로 基準溫度 20℃에서 上流는 0.60, 下流는 0.30 으로 推定되었다. 또한 再曝氣係數 K_2 의 값은 平水時인 Regime 1,3 에서는 1.06 ~ 3.52 이고 渴水時인 Regime 2 에서는 2.58 ~ 6.29 값으로 渴水時가 平水時보다 約 2 배 정도 크다.

④ 自淨係數의 값은 河川流量이 커짐에 따라 작아지고, 錦江本流를 甲川과 美湖川의 合流點을 境界로할때 上流는 1.95 ~ 3.05, 中流는 2.88 ~ 4.95, 下流는 6.92 ~ 12.55 로 下流로 갈수록 커진다.

⑤ 河川에서 DO의 變化에 影響을 주는 自淨係數 f 는 流量에 따라 變化하므로 大淸澗 放流量 調節을 利用한 錦江水質의 最適化技法에 까지의 適用可能性을 提示하여 준다.

參 考 文 獻

- (1) 金祥奘, 李舜鐸, “線型計劃法에 依한 河川流域의 最適水質管理”, 韓國水文學會誌, 第 16 卷, 第 3 號, p.159~169, 1983.
- (2) 農業振興公社, ‘82 試驗研究 事業報告書, 第 20 輯, p.365 ~ 384, 1983.
- (3) 沈淳輔, 李光浩, 柳秉燾, “河川水質豫測 Model (I), - WQRRS Model 에 의한 漢江河川水質豫測 -”, 韓國水文學會誌, 第 17 卷, 第 1 號, p.31 ~ 36, 1984.
- (4) 李吉成, “用水-廢水 分配模型의 敏感度分析”, 韓國水文學會誌, 第 16 卷, 第 1

號, p.41 ~ 48,1983.

- (5)李弘根, 韓振錫, "洛東江 中流部の 自淨能力에 對한 研究", 韓國水文學會誌, 第17卷, 第2號, p.85 ~ 97,1984.
- (6) Beck B. and P.Young, "Systematic Identification of DO-BOD Model Structure", J.of the Environmental Eng. Div., ASCE, Vol. 102, No. EE5, P.907-927, 1976.
- (7) Biswas A.K., Models for Water Quality Management, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Eng., Advanced Book Program, 1981.
- (8) Cunge J.A., F.M.Holly, and A. Verway, Practical Aspects of Computational River Hydraulics, Pitman Advanced Publishing Program,1980.
- (9) EPA, Computer Program Documentation for Stream Quality Model (QUALII), EPA Center for Water Quality Modeling, 1981.
- (10) Grantham G.R.,J. C. Schaake, and E.E. Pyatt,"Water Quality Simulation Model", J.of Sanitary Eng.Div., ASCE,Vol.97, NO.SA5, P.569-585,1971.
- (11) Grenny W.J., M.C. Teuscher,and L.S.Dixon,"Characteristics of the Solution Algorithms for the QUALII River Model", Journal of WPCF, p.151-157,1978.
- (12) Jettmar R.V., G.K.Young,A.I.Perez, and R.Oros,"Dynamic Water Quality modeling in South Florida," J. of the Environmental Div., ASCE,VOL. 106, NO.EE1,P.105-124,1980.
- (13) Loucks D.P.,J.R. Stedinger,and D.A.Haith, Water Resources System Planning and Analysis, Prentice-Hall,1981.
- (14) Pemetracopoulos A.C.and H.G. Stefan, "Model for Missisipi River Pool: Mass Transport and Dissolved Oxygen," J. of the Environmental Eng. Div., ASCE, Vol. 109,No.EE5,P.1020-1034,P.1006-1019,1983.
- (15) Raudkivi A.J.,Hydrology, An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modeling, Pergamon Press, 1979.
- (16) Sorbey R.J., "Numerical Alternatives in Transient Stream Response," Journal of the Hydraulic Eng., Vol 110, No.6, P.749-772, 1984.
- (17) White J.D. and J.A.Dracup, "Water Quality Modeling of a High Mountain Stream," Journal of WPCF, P.2179-2189, Washington D.C., USA, 1977.
- (18) Willis R., D.R.Anderson, and J.A.Dracup, "Steady-State Water Quality Modeling in Streams", J. of the Environmental Eng. Div., ASCE, Vol. 101, No. EE2, P.245-258, 1975.
- (19) Willis R., D.R. Anderson, and J.A.Dracup, "Transient Water Quality Modeling in Streams", Water Resources Bulletin, American Water Resources Association, Vol. 12,No.1. P.157-174, 1976.