

# 水營江 河口에 對한 數學的 水質管理 모델의 適用

廢棄物分析科

劉平鍾·趙原得·崔圭相·裴基哲

## Application of Mathematical Water Quality Model on the Sooyoung Estuary

Industrial Waste Analysis Division

P.J. Yoo, W.D. Cho, K.S. Choi, K.C. Bae

### Abstract

The objective of this study is to apply a mathematical water quality model based on finite differential method to the Sooyoung estuary.

We found various decay coefficients by a trial and error method on the mathematical model, and planned water quality management schemes of the Sooyoung estuary to maintain 1st class water quality for aquatic water use.

Following results were obtained :

1.  $K_{ds}$ (BOD decay coefficients) were 0.030-0.230/day,  
 $K_{125}$ (org-N decay coefficients) were 0.001-0.075/day,  
 $K_{225}$ ( $\text{NH}_4^+$ -N decay coefficients) were 0.003-0.030/day,  
 $K_{325}$ ( $\text{NH}_3$ -N decay coefficients) were 0.050-0.300/day  
including summer, spring and winter season.
2. The dispersion coefficients were 1.63-22.16  $\text{km}^2/\text{day}$ , and those values in high tides were larger than those in low tides.
3. The sediment oxygen demand was  $5.8\text{gO}_2/\text{m}^2\text{day}$  in average.
4. In order to maintain the 1st class water quality for aquatic water use, approximately 90-95% of the BOD loading, 10% of the NOD loading, and 45-50% SOD of the Sooyoung estuary should be removed.

## I. 緒 論

水營江은 慶南 梁山郡 陵山面 및 東面의 境界인 海拔 800m 地点에서 發源되어<sup>1)</sup> 水營灣으로 流入되는 準用河川으로서 河川流域面積은 溫泉川(58.0km<sup>2</sup>), 石台川(11.4km<sup>2</sup>)과 東萊川(0.5km<sup>2</sup>)의 支川을 合하여 201.8km<sup>2</sup>이다.<sup>2)</sup>

그리고 이 流域의 常任人口는 約110萬名이며, 流域에 位置한 工場은 化學, 金屬, 飲食料品 및 纖維等 業種의 75個로 排出 廢水는 17,086m<sup>3</sup>/d 程度이다. 이江은 流域住民과 隣近工場에서 排出하는 家庭下水와 工場廢水로 因해 極히 汚染되어 河川의 機能을 거의 喪失하였으며, 70年代初까지 盛行했던 養殖業等の 水産業은 생각할 수도 없는 實情이다. 이렇게 汚染이 深化된 水營江의 水質을 回復하기 爲해서는 流域에서 排出되는 生活下水 및 工場廢水의 適切한 處理가 要求되고 있다.

따라서, 釜山市는 釜山市 全體人口의 約 1/3을 包含하는 水營江 流域住民의 生活環境改善은 勿論 Olympic yacht競技場의 水質改善 및 沿岸汚染防止를 目的으로하여 下水終末處理場을 建設하였다. 下水處理場의 事業施設容量은 1段階 230,000m<sup>3</sup>/d, 2段階 340,000m<sup>3</sup>/d, 最終目標 年度인 2001년에는 440,000m<sup>3</sup>/d이다.

그런데, 河川水는 使用目的에 따라 要求되는 水質狀態를 維持하기 爲하여서는 河川의 自淨能力 範圍를 超過하지 않는 限度內的 汚染物質만이 流入이 許容되어야 한다. 適切한 下廢水 處理라함은 許容限度以上の 汚染物質 負荷量을 河川에 流入되기 以前에 除去하는 것을 意味한다. 따라서 特定한 河川의 自淨能力을 算出하고 適正한 下廢水 計劃을 세우기 爲하여 多様な 形態의 水質管理 Model이 開發되고 있다.

河川의 水質管理 Model로는 Qual II<sup>3)</sup>, USGS<sup>4)</sup>, WQRRS<sup>5)</sup>, 等の Model이 있지만 使用方法이 複雜하고 特定地域에 適用하기 위한 補正이 쉽지않는 問題點이 있다.

本研究에서는 Thomann이 美國의 Delaware estuary에 適用하였던 mathematical model<sup>6)</sup>을 利用하였다. 本研究의 目的은 水質管理 Model을 現場調査資料를 바탕으로 補正하여, 水營江의 水質管理計劃樹立에의 適用 可能性을 檢討하고자 하는 것이다.

이러한 研究目的을 達成하기 爲해서, 水營江 下流部로서 釜山市의 海雲台区와 東萊區를 關通하는 全長 約 8km를 對象으로 6회에 걸친 現場調査를 通하여 現場의 水質汚染度測定 및 地形資料를 蒐集하였으며, 蒐集된 資料를 Model의 入力資料로 活用하여 Model의 補正 및 檢定을 試圖하였다. 그리고 補正이 完了된 Model을 利用하여 水産用水 1級에 該當하는 水質을 維持하기 爲해 要求되는 汚染 負荷量 除去率을 算定하여 水質管理를 爲한 基礎資料를 提供하였다.

## II. 水質管理 Model

水質管理Model 構成<sup>7) 8)</sup>: 本研究에 適用한 數學的 水質管理Model은 Fig. 1에서 나타내었듯이 對象河川을 同一한 地形的 特性을 가진 幾個의 區間으로 區分하였다. 區間이 one-dimensional system이며, 各區間이 completely mixed system이라고 假定하였다. 그리고 本 Model은 Fig. 2에서와 같이 Carbonaceous Oxygen Demand (BOD), Nitrogenous Oxygen Demand (NOD) 및 Sediment Oxygen Demand (SOD)가 Dissolved Oxygen(DO)에 미치는 影響을 考慮하는 coupled system과 이를 各各의 汚染因子가 分解 및 除去되는 境遇를 考慮하는 Single system으로 構成되어 있다.

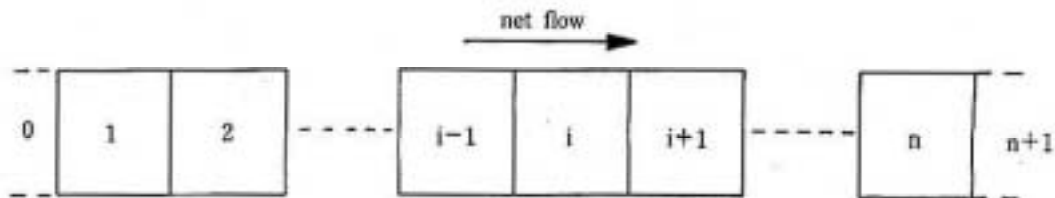


Fig. 1 Division of estuary into n finite sections.

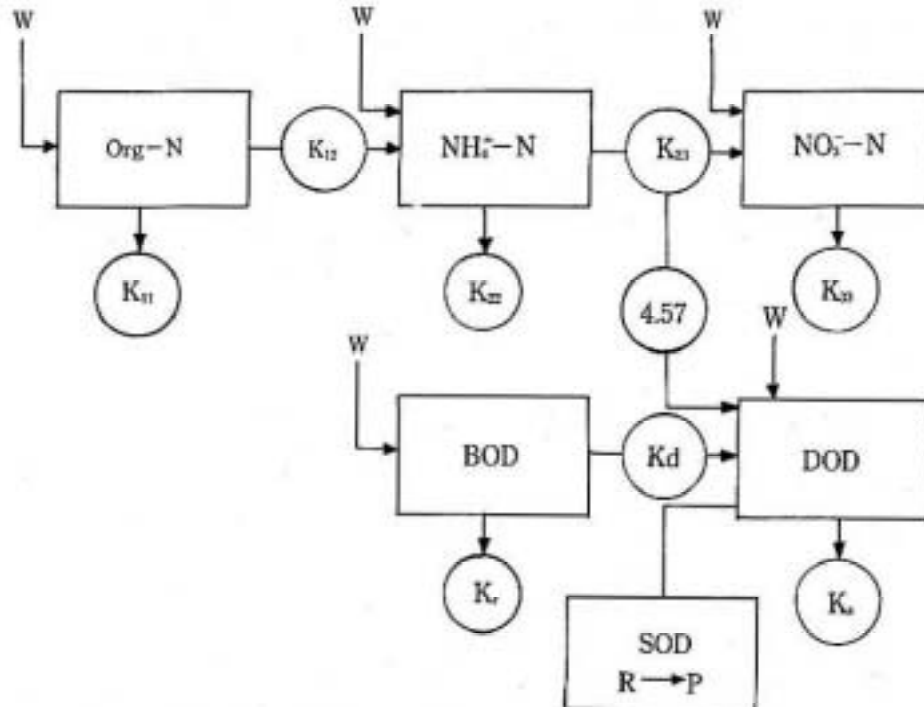


Fig. 2 Water quality system on Sooyoung estuary.

1) Single system

河口를 n개의 區間으로 나누었을때 任意의 區間 i에서 時間에 따른 物質變化量은  $V_i(\frac{ds_i}{dt})$ 로 주어진다. 그리고 이의 構成은 汚染物質의 移動, 分散, 分解 및 負荷量의 物質收支式으로 나타낼 수 있다.

① 河川의 流量이 Q일때 任意區間 i에서 特質S의 質量移動

$$Q_{i-1,i}(S_{i-1}) - Q_{i,i+1}(S_{i,i+1}) \quad (1)$$

$$S_{i-1,i} = \alpha_{i-1} S_{i-1} + \beta_{i-1,i} S_i \quad (2)$$

$$S_{i,i+1} = \alpha_{i,i+1} S_i + \beta_{i,i+1} S_{i+1}$$

여기서  $\alpha$  &  $\beta$  : 分散과 移流의 값

$$\beta = 1 - \alpha$$

式(2)를 式(1)에 代入하면

$$Q_{i-1,i}(\alpha_{i-1} S_{i-1} + \beta_{i-1,i} S_i) - Q_{i,i+1}(\alpha_{i,i+1} S_i + \beta_{i,i+1} S_{i+1}) \quad (3)$$

② 潮流에 의한 混合, 密度差와 速度剪斷에 의한 物質變化

$$\text{區間 } i-1 \text{과 } i \text{에서 } \frac{E_{i-1,i} A_{i-1,i}}{\gamma^{i,i+1}} (S_{i-1} - S_i)$$

$$\text{區間 } i \text{와 } i+1 \text{에서 } \frac{E_{i,i+1} A_{i,i+1}}{\gamma^{i,i+1}} (S_i - S_{i+1}) \quad (4)$$

여기서  $E$  = 潮流分散係數(L<sup>2</sup>/T)

$\gamma$  = 이웃한 區間의 平均길이

③ 1次分解反應에 의한 區間에서의 特質S의 減少

$$- V_i K_i S_i \quad (5)$$

④ 物質S의 直接的인 負荷量

$$W \quad (6)$$

따라서 以上の 現象에 의한 物質收支는 다음과 같이 쓸수있다.

$$V_i \frac{ds_i}{dt} = Q_{i-1,i}(\alpha_{i-1,i} S_{i-1} + \beta_{i-1,i} S_i) - Q_{i,i+1}(\alpha_{i,i+1} S_i + \beta_{i,i+1} S_{i+1}) + E_{i-1,i}(S_{i-1} - S_i) + E_{i,i+1}(S_{i+1} - S_i) - V_i K_i S_i + W_i \quad (7)$$

여기서,  $E' = EA/\gamma$

正常狀態에서  $V_i(dsi/dt) = 0$

그리고 式(7)을  $S_{i-1}, S_i, S_{i+1}$ 의 項으로 定理하면  $(-Q_{i-1,i} - E_{i-1,i})S_{i-1} + (Q_{i,i+1} \alpha_{i,i+1} - Q_{i-1,i} \beta_{i-1,i} + E_{i-1,i} + E_{i,i+1} + VK)S_i + (Q_{i,i+1} \beta_{i,i+1} - E_{i,i+1})S_{i+1} = W_i$  (8)

그런데  $a_{i-1,i} = -Q_{i-1,i} \alpha_{i-1,i} - E_{i-1,i}$

$$a_{ii} = Q_{i,i+1} \alpha_{i,i+1} - Q_{i-1,i} \beta_{i-1,i} + E_{i-1,i} + E_{i,i+1} + VK$$

$$a_{i,i+1} = Q_{i,i+1} \beta_{i,i+1} - E_{i,i+1}$$

따르면, 式(8)은

$$a_{i-1,i} S_{i-1} + a_{ii} S_i + a_{i,i+1} S_{i+1} = W_i \quad (9)$$

이를 첫번째 區間에 대해 나타내면,

$$a_{11} S_1 + a_{12} S_2 = W_1 + (Q_{01} \beta_{01} + E_{01}) S_0$$

이를 다시쓰면  $a_{11} S_1 + a_{12} S_2 = W_1$ 으로 나타낼 수 있다.

n個의 區間에 대해 matrix form으로 나타내면

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} & 0 & \cdot & 0 \\ \cdot & & & & & & \\ \cdot & & & & & & \\ \cdot & & & & & & \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & a_{n,n-1} & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ S_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \end{pmatrix}$$

이를 다시쓰면  $[A](S) = (W)$ 로 나타낼 수 있다. 그러므로,  $(S) = [A]^{-1} (W)$ 이고, 單位는  $[M/L^3] = [T/L^3] [M/T]$ 이다.

따라서,  $S = 1/8.34 [A]^{-1}(W)$ 이고 一般的으로 使用하는 單位는 다음과 같다.

$$[ng/\ell] = \left[ \frac{mg/\ell}{\ell \text{ b/day}} \right] (\ell \text{ b/day})$$

## 2) Coupled system

Single system의 式(7)에서 S대신  $S_2$ 의 形式으로 나타내면

$$V_i \frac{dS_{2i}}{dt} = Q_{i-1,i} (\alpha_{i-1,i} S_{2i-1} + \beta_{i-1,i} S_{2i}) - Q_{i,i+1} (\alpha_{i,i+1} S_{2i} + \beta_{i,i+1} S_{2i+1}) \\ + E_{i-1,i} (S_{2i-1} - S_{2i}) + E_{i,i+1} (S_{2i+1} - S_{2i}) - VK_{2i,i} S_{2i} \\ + VK_{2i,i} S_{2i} + W_{2i}$$

이를 Single system과 같은 方式으로 matrix form으로 나타내면,

$$[B](S_2) = (VK_{2i}) (S_2 + W_2) \quad (12)$$

$$(S_2) = [B]^{-1} (VK_{2i}) (S_2) + [B]^{-1}(W_2) \quad (13)$$

single system과 마찬가지로 式(3)은

$$(S_2) = [B]^{-1} (VK_{2i}) (1/8.34) [A]^{-1} (W_1) + (1/8.34) [B]^{-1}(W_2) \\ (mg/\ell) = (day/MG) (MG/day) \left( \frac{mg/\ell}{\ell b/MG} \right) (day/MG) (\ell b/day)$$

위 Single system과 Coupled System의 演算式을 Bunce와 Hettling<sup>8)</sup>이 BOD와 DO等に 適用시킬 수 있도록 algorithm program을 定立하였다.

## III. 實驗方法 및 材料

現場調査地点 및 方法: Fig. 3에서 보는바와 같이 潜水橋를 最上流地点으로 하여 可能한 區間内の 河川幅 및 水深이 均一하도록 500~2,000m 間隔으로 水營江의 下流인 yacht擊留場 앞으로 全區間을 8個區域으로 區分하였다. 大部分의 汚染物負荷는 水營江上流 및 溫泉川으로부터 流入되므로 流入地点은 이 二個의 地点만을 考慮하고, 盤如洞 潜水橋 및 蓮山洞 蓮安橋에서 河川水 流入流量 및 汚染度를 測定하였다.

現場調査時期는 1987년 5월부터 1988년 2월까지로서 봄, 여름, 겨울이 包含되었으며, 每時期마다 干滿潮로 區分하여 調査하였다. 試料採取는 船舶을 利用하여 江中央의 表層水와 水深의 60% 깊이에서 採取하여 同量으로 섞어 使用하였으며, 採取器具는 vandon sampler를 使用하였다.

### 1. 測定 및 實驗方法

#### 1) 測定方法

- ① 水深: 江中央과 기슭에서 中央으로 1/3되는 二地点等 3地点을 測定하여 그 平均값으로 하였다.(m)

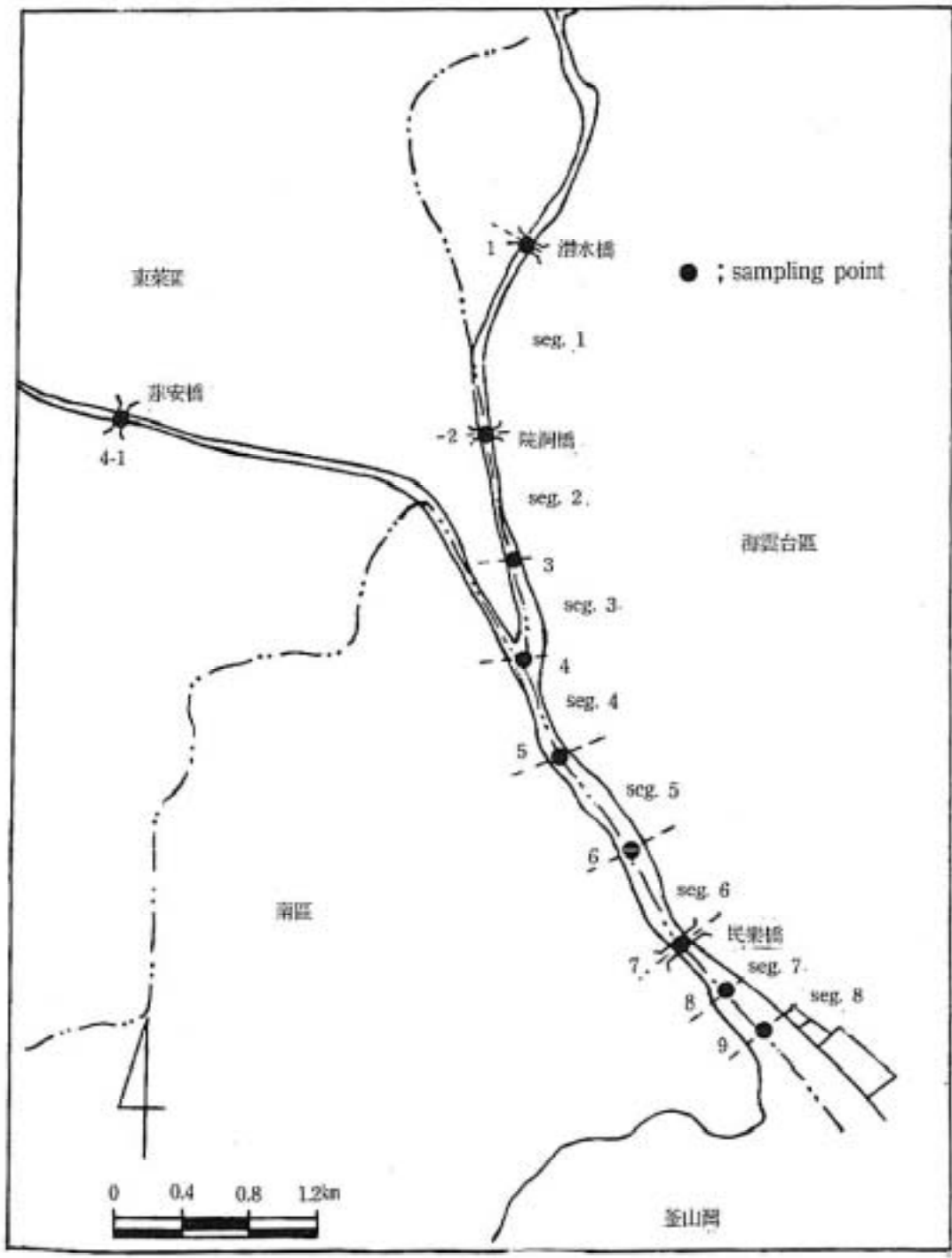


Fig. 3 Map of Sooyoung estuary, showing finite sections and point sources.

- ② 길이 : 各區間別로 實測하였다.(m)
- ③ 斷面積 : 圖上으로 江幅을 재고 이江幅과 水深을 곱한값으로 하였다.
- ④ 鹽分 : YSI model 33 S-C-T meter로 水面에서 河床까지 0.5m 單位로 測定하여 그 平均값으로 구하였다.(%)
- ⑤ 流量 : 流速計(model PVM-2)로 表面, 表面으로부터 0.5m, 1.0m 地點에서 流速을 測定하여 流下方向斷面積을 곱하여 求하였다.
- ⑥ 平均潮流流速(average tidal velocity)<sup>10)</sup> : 流速計로 每30分마다 表面, 0.5m, 1.0m 깊이에서 各 地點의 流速을 測定한 後 Fig. 4에서처럼 maximum tidal velocity( $V_e$ )를 구한 後 다음의 式으로 計等하였다.(m/s)

$$\text{ave. tidal vel.} = \frac{1}{\sqrt{n}} (V_t + V_e)$$

- ⑦ 分散係數(dispersion coefficient)<sup>11)</sup> : 各地點의 鹽分度를 거리에 따라 semi-log graph에 그려 기울기를 求한다. 그리고 該當地點의 fresh water net velocity에 위의 기울기를 나눈값으로 하였다.(/day)
- ⑧ 再曝氣係數(re-aeration coefficient :  $K_2$ )<sup>10)</sup> : O'conner와 Dobbins의 經驗式으로 求하였다.

$$K_2 = \frac{294 (D_L U)^{1/2}}{H}$$

$D_L : 1,760 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{d} \times 1.037^{T-20}$   
 $U : \text{ave.tidal vel. (m/s)}$   
 $H : \text{depth (m)}$

## 2) 實驗方法

本調査에서 使用된 試驗方法은 環境汚染公定試驗法(水質分野)<sup>12)</sup> 및 STANDARD METHOD<sup>13)</sup>을 利用하였다.

汚染負荷量計算 : 汚染負荷量은 BOD負荷量, 有機窒素 및 Ammonia性 窒素에 의한 NOD負荷量, 汚染物 流入地點에서의 元來 酸素不足量에 의한 DOD 負荷量 및 河床堆積物에 의한 酸素消耗量인 SOD負荷量으로 크게 區分 할수있다.

- ① BOD負荷量[kg/d] : 本流 및 支流의 流量에 該處의 本流 및 支流의 流入 BOD濃度를 곱하여 求한다.
- ② 有機窒素, Ammonia性窒素 및 窒酸性窒素 負荷量[kg/d] : 有機窒素의 負荷量은 BOD 負荷量 計算法과 마찬가지로, Ammonia性窒素의 負荷量은 區間當  $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷量[kg/d] = 支流에서의  $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷量 + (區間의 volume( $\text{m}^3$ )  $\times K_n$ (/d)  $\times$  區間의 org-N濃度



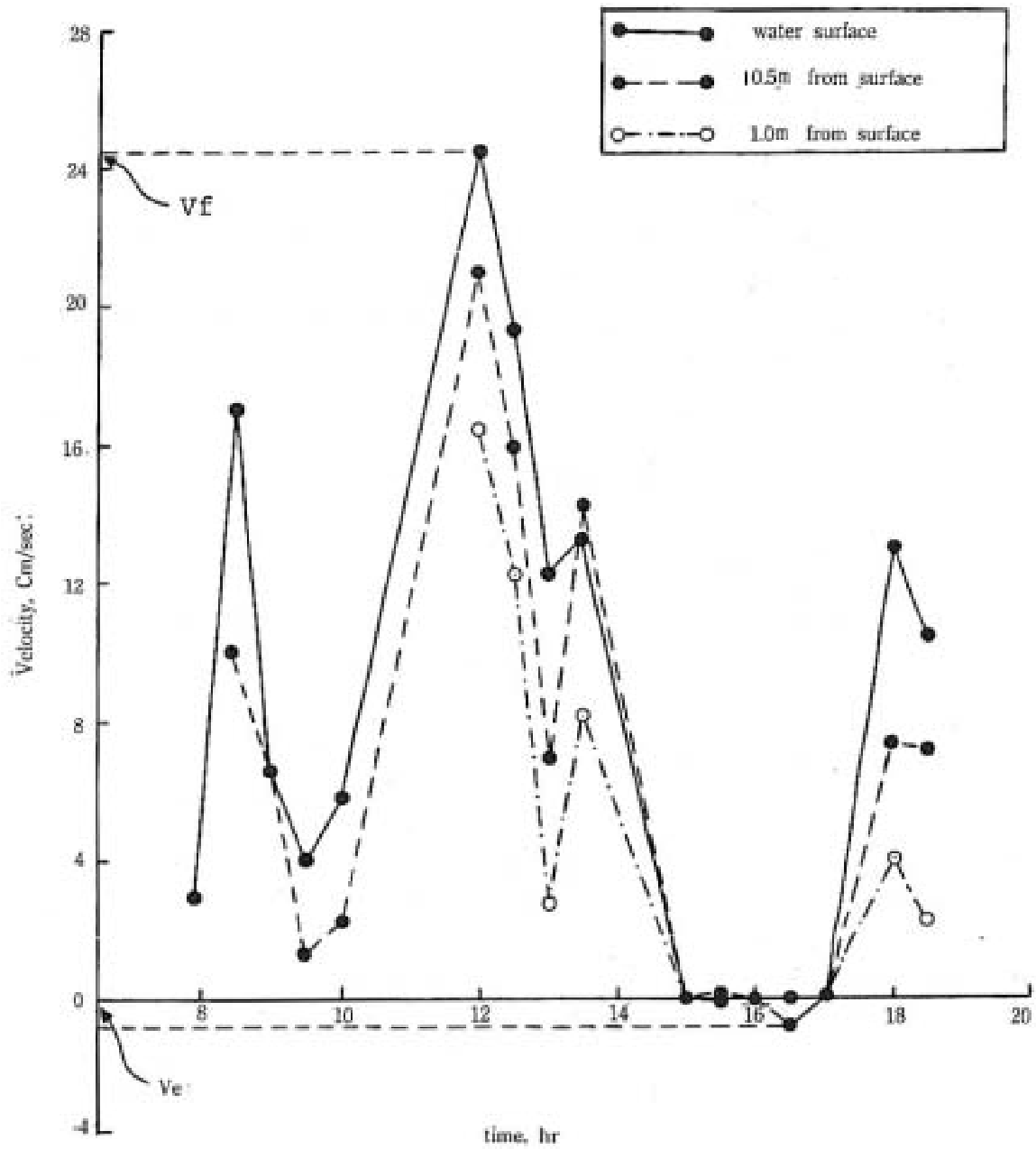


Fig. 4 Current velocities in Sooyoung estuary at sampling point 8 (5 May '87).

(mg/l) )  $[10^3 \text{ mg} \times \text{kg}/10^6 \text{ mg}]$ 이 된다.

窒酸性窒素의 負荷量은 Ammonia性窒素負荷量을 計算하는 方法과 同一하다.

- ③ NOD負荷量 [kg/d] : 有機窒素 및 Ammonia性窒素에 의한 NOD負荷量 =  $(4.57) \times$  區間의 volume ( $\text{m}^3$ )  $\times K_d$  (/d)  $\times$  區間の  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  濃度 (mg/l)  $[10^3 \text{ mg} / \text{m}^3 \times \text{kg}/10^6 \text{ mg}]$   
여기서 Ammonia와 亞窒酸性窒素의 酸化가 DO를 消耗시키는 率이다.
- ④ DOD負荷量 [kg/d] : 本流 및 支流의 流量에 該의 本流 및 支流流入 DOD不足量 (DO飽化濃度 - 流入水의 DO濃度)을 곱하여 求한다.
- ⑤ SOD負荷量 [kg/d] : 各地点의 DO濃度에서 BOD, NOD 및 DOD負荷量에 의한 DO消耗量을 除外한 나머지를 SOD에 의한 DO消耗量으로 推定하였다.

#### IV. 結果 및 考察

##### 1. 數學的 Model의 入力資料

1) 地形資料 : Model의 入力資料는 地形資料, 汚染負荷量 및 反應係數 등으로 分類할 수 있다. 地形 및 反應係數資料의 一例가 Table 1에 蒐錄되어 있다.

Table 1. Geological System Parameters on Sooyoung Estuary during High tide on 5 May, 1987.

| Section | Length<br>m | Volume<br>$10^3 \text{ m}^3$ | Cross-Sec<br>Area, $\text{m}^2$ | Avg.<br>Tidal<br>Vel.<br>m/s | Fresh<br>Water<br>Flow<br>$\text{m}^3/\text{s}$ | Dispersion<br>Coeff<br>$\text{km}^2/\text{d}$ | Reaeration<br>Coeff<br>/day |
|---------|-------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---|---|-----------------------------|
| 0       | —           | —                            | 12                              | —                            | 0.98  | 9.02  | —                           |
| 1       | 1900        | 80.5                         | 83.5                            | 0.06                         | 0.98  | 9.02  | 0.61                        |
| 2       | 1025        | 136.1                        | 182.0                           | 0.07                         | 0.98  | 3.76  | 0.22                        |
| 3       | 1200        | 364.2                        | 425.0                           | 0.09                         | 4.00  | 6.76  | 0.29                        |
| 4       | 850         | 354.0                        | 408.0                           | 0.10                         | 4.00  | 7.51  | 0.29                        |
| 5       | 825         | 360.1                        | 465.0                           | 0.11                         | 4.00  | 6.76  | 0.25                        |
| 6       | 750         | 350.8                        | 470.4                           | 0.12                         | 4.00  | 6.76  | 0.16                        |
| 7       | 675         | 332.1                        | 513.5                           | 0.13                         | 4.00  | 5.01  | 0.22                        |
| 8       | 500         | 409.6                        | 1125.0                          | 0.13                         | 4.00  | 3.01  | 0.19                        |

本研究對象인 水營江의 8個區間을 Table에서 보는바와 같이 下流로 갈수록 짧게 나누어져 있으나 下流로 갈수록 江幅이 넓어지므로 區間의 斷面積과 volume은 流下로 갈수록 커지며 平均潮流流速도 下流쪽이 더커지는 傾向을 띤다.

2) 分散係數: 分散係數는 Table 2에서 보는바와같이 下流로 갈수록 값이 커지다가 大體 區間3에서 最大값을 갖고 다시 작아지는데 이는 分散係數가 fresh water inflow (=Q/A)에 比例하는 項의 影響이 큰때문으로 思料된다.

Table 2. Dispersion coefficient of Sooyoung estuary  
[unit : km<sup>2</sup>/d].

| No.of<br>seg. | '87. 5. 5 |       | '87. 8. 11 |       | '88. 2. 10 |      |
|---------------|-----------|-------|------------|-------|------------|------|
|               | H/T       | L/T   | H/T        | L/T   | H/T        | L/T  |
| 0             | 9.02      | 13.52 | 6.16       | 6.16  | 6.58       | 7.05 |
| 1             | 9.02      | 13.52 | 6.16       | 6.16  | 6.58       | 6.52 |
| 2             | 3.76      | 6.01  | 11.88      | 15.64 | 3.29       | 2.72 |
| 3             | 6.76      | 6.76  | 19.13      | 15.84 | 10.93      | 9.24 |
| 4             | 7.51      | 6.01  | 21.23      | 13.95 | 7.66       | 5.43 |
| 5             | 6.76      | 6.76  | 17.73      | 13.10 | 7.66       | 4.89 |
| 6             | 6.76      | 6.01  | 22.16      | 15.23 | 8.39       | 3.26 |
| 7             | 6.01      | 4.51  | 12.22      | 6.55  | 6.99       | 2.72 |
| 8             | 3.01      | 2.26  | 7.69       | 4.32  | 2.20       | 1.63 |

그리고, 本研究에서는 分散係數가 1.63~22.16km<sup>2</sup>/d의 값을 갖는데 미국EPA가 fresh water inflow에 따라 行한 14個河口에 對한 研究<sup>14)</sup>에서는 分散係數가 1.29~129.4 km<sup>2</sup>/d의 값을 갖는다. 水營江(fresh water inflow : 1.87~6.65 m<sup>3</sup>/s)과 fresh water inflow가 비슷한 Lower Raritan river(fresh water inflow : 4.25m<sup>3</sup>/s)의 경우 12.94km<sup>2</sup>/d, potamac river (15.57 m<sup>3</sup>/s)는 2.59~25.89 km<sup>2</sup>/d의 값을 갖는것으로 나타났다.

3) 再曝氣係數: 再曝氣係數는 Table 3에서 나타난것처럼 下流로 갈수록대체로 낮아지는 傾向을 나타내고 있는데, 이는 再曝氣係數가 水深의 3/2乘(H<sup>3/2</sup>)에 反比例하기 때문으로 思料된다.

本研究對象인 水營江의 再曝氣係數는 0.10~1.80/day의 값을 갖는다. 美國EPA가 7個의 河口에 對한 報告<sup>14)</sup>中 水深이 水營江(水深: 0.5~7.0m)의 單位에 드는 5個河口(水深: 3.05~7.62m, 水温: 20°C)의 再曝氣係數가 0.10~0.38/day의 값을 나타내었다. 이에 比해 水營江의 再曝氣係數가 큰境遇는 水深이 아주 낮은區間 1~2의 境遇이다.

Table 3. Reaeration coeff. of Sooyoung estuary [ /day]

| No.of<br>seg. | '87. 5. 5 |      | '87. 8. 11 |      | '88. 2. 10 |      |
|---------------|-----------|------|------------|------|------------|------|
|               | H/T       | L/T  | H/T        | L/T  | H/T        | L/T  |
| 1             | 0.61      | 1.21 | 0.55       | 1.80 | 0.42       | 0.76 |
| 2             | 0.22      | 0.36 | 0.25       | 1.20 | 0.29       | 0.73 |
| 3             | 0.29      | 0.33 | 0.23       | 0.55 | 0.29       | 0.85 |
| 4             | 0.29      | 0.31 | 0.26       | 0.48 | 0.28       | 0.60 |
| 5             | 0.25      | 0.37 | 0.21       | 0.44 | 0.30       | 0.42 |
| 6             | 0.16      | 0.17 | 0.19       | 0.37 | 0.17       | 0.20 |
| 7             | 0.22      | 0.21 | 0.13       | 0.18 | 0.15       | 0.26 |
| 8             | 0.19      | 0.21 | 0.18       | 0.25 | 0.10       | 0.32 |

4) 汚染負荷量 : Table 4에 '87. 5. 5H/T의 BOD, org-N, NH<sub>3</sub>-N 및 DOD의 汚染負荷량이 나타나있는데, Table 4에서 보는바와같이 本流보다 支流인 溫泉川으로부터의 負荷량이 3倍에서 7倍 더 많다. 이는 汚染物質濃度보다는 溫泉川의 流量이 더 많은것이 基因한다. 이것은 溫泉川의 人口가 水營江보다 約3.4倍 많으며 또한 産業體의 廢水가 食品, 纖維 會社等이 있는 關係로 溫泉川이 5倍以上 排出되는 것에 의한 것으로 懸料된다.

Table 4. Loading Data for Model Calibration on Sooyoung Estuary water quality model

| Sampling date    | Load ing point | BOD <sub>5</sub> [kg/d] | org-N [kg/d] | NH <sub>3</sub> -N [kg/d] | DOD [kg/d] | flow 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d |
|------------------|----------------|-------------------------|--------------|---------------------------|------------|--|
| '87. 5. 5<br>H/T | 1              | 3963                    | 134          | 1355                      | 76         | 84.7                                   |
|                  | 2              |                         |              | 9                         |            |  |
|                  | 3              | 9707                    | 180          | 2319                      | 311        | 345.6                                  |
|                  | 4              |                         |              | 17                        |            |  |
|                  | 5              |                         |              | 15                        |            |  |
|                  | 6              |                         |              | 15                        |            |  |
|                  | 7              |                         |              | 14                        |            |  |
|                  | 8              |                         |              | 17                        |            |  |

## 2. 水質管理模型補正

### 1) 反應常數抽出

① 逐行方法: Model補正은 實測된 값과 Model豫測 結果와의 差異를 極小化하는 過程으로 서 各種 反應係數를 包含한 不確實性이 있는 parameter들을 一部 調整하므로써 이루어진다. 本研究에서는 分解常數(decay coefficient,  $K_d$ )를 試行錯誤法으로 求하였다. 즉, 任意의 分解 常數값을 入力한 後 Model의 電算을 逐行한 後 算出된 結果를 實測値와 比較分析하여 分解 常數를 修正하는 過程을 反復的으로 되풀이하여 求하였다.

各汚染物質의 分解常數와 脫酸素는 같다.<sup>10)</sup>고 보았다.

②反應常數: BOD의 境遇 本流와 支流에서의 負荷量이 各 區間別로 degradation 되는 값과 各區間別로 實測한 값을 Fig. 5와 같이 fitting하여  $K_d$ 값을 얻었다. 마찬가지로 org-N,  $NH_4^+ - N$ ,  $NO_3^- - N$ 도 實測한 값과 計算값을 fitting하여 各各  $K_{org-N} = K_{BOD}$ ,  $K_{NH_4^+ - N} = K_{BOD}$ ,  $K_{NO_3^- - N}$ 의 값을 얻었다. 이로서 얻어진 값을 Table. 5에 나타내었다.

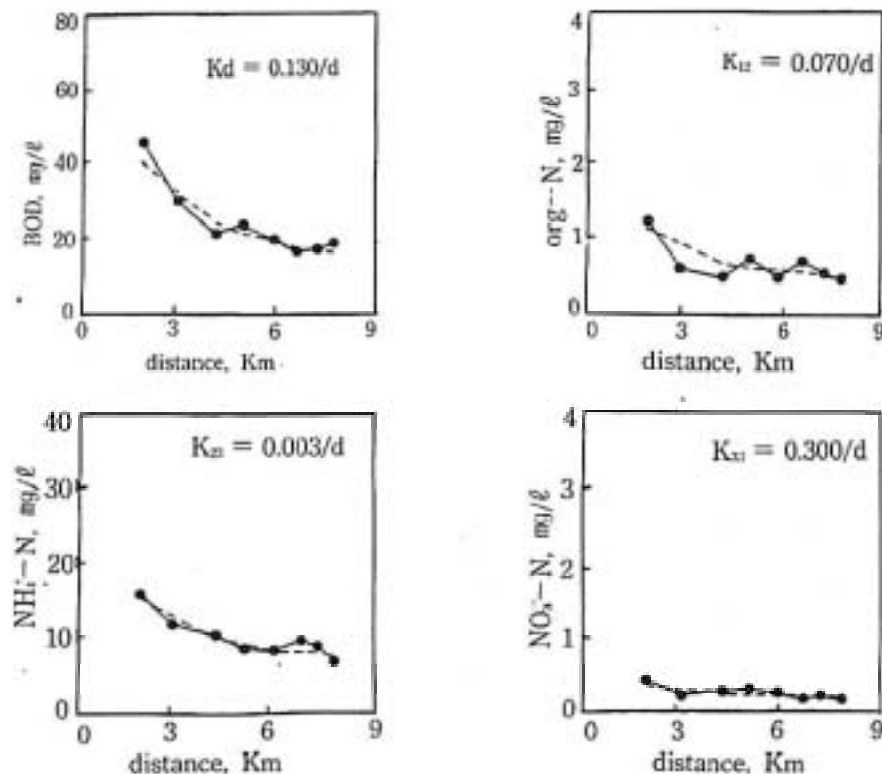


Fig. 5 Model calibration on Sooyoung estuary program with data set of 5 May '87, high tide.

Table. 5 Decay coefficient of Sooyoung estuary [unit/day].

|          |     | Kd    | K <sub>DE</sub> | K <sub>DO</sub> | K <sub>DN</sub> |
|----------|-----|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 87. 5. 5 | H/T | 0.130 | 0.070           | 0.003           | 0.300           |
|          | L/T | 0.100 | 0.050           | 0.005           | 0.500           |
| 87. 8.10 | H/T | 0.150 | 0.050           | 0.010           | 0.100           |
|          | L/T | 0.230 | 0.075           | 0.020           | 0.050           |
| 88. 2.10 | H/T | 0.050 | 0.001           | 0.030           | 0.200           |
|          | L/T | 0.030 | 0.010           | 0.005           | 0.200           |

이는 다시 다음으로 表現된다.

그리고, 計算값과 實測값과의 相關關係는 計算값을 X軸, 實測값을 Y軸으로하여 graph를 그려 相關關係값을 求하였다. BOD의 撓過 平均 95.9% (89.8%~99.9%), org-N은 平均 91.8% (78.5%~98.7%), NH<sub>4</sub>-N은 平均 96.7% (92.1%~99.5%), NO<sub>3</sub>-N은 平均 88.0% (82.9~99.9%)로서 比較的 相關關係는 좋은편이다.

### ③溫度影響

Kd값은 水溫의 影響을 크게 받으므로 水溫과 Kd값과의 關係를 살펴보았다.

水營江의 撓過 Kd값이 겨울('88. 2. 10)보다는 봄('87. 5. 5)이, 봄보다는 여름('87. 8. 11)이 더 높아 온도가 높아짐에 따라 Kd값이 높아진다는 一般的인 事實에 符合됨을 알수있다. Kd값에 對한 溫度의 影響은 一般的으로 다음式<sup>10)</sup>으로 表現된다.

$$K_t = K_{20} \theta^{T-20}$$

T : Temperature

K<sub>20</sub> : 20°C에서의 Kd값

K<sub>t</sub> : t°C

이는 다시 다음으로 表現된다.

$$\ln(K_t/K_{20}) = (T-20) \ln \theta$$

그러므로,  $\ln(K_t/K_{20})$ 와 (T-20)이 直線關係가 되므로 이 graph에서의 기울기가  $\ln \theta$ 이다. 여기서  $\theta$ 의 값은 Fig. 6에서 보는바와같이 滿潮에서는 1.08 干潮에서는 1.15의 값이 求해졌다.  $\theta$ 는 15~36°C의 單位에서는 大概 1.03~1.10의 값<sup>10)</sup>을 갖는다.

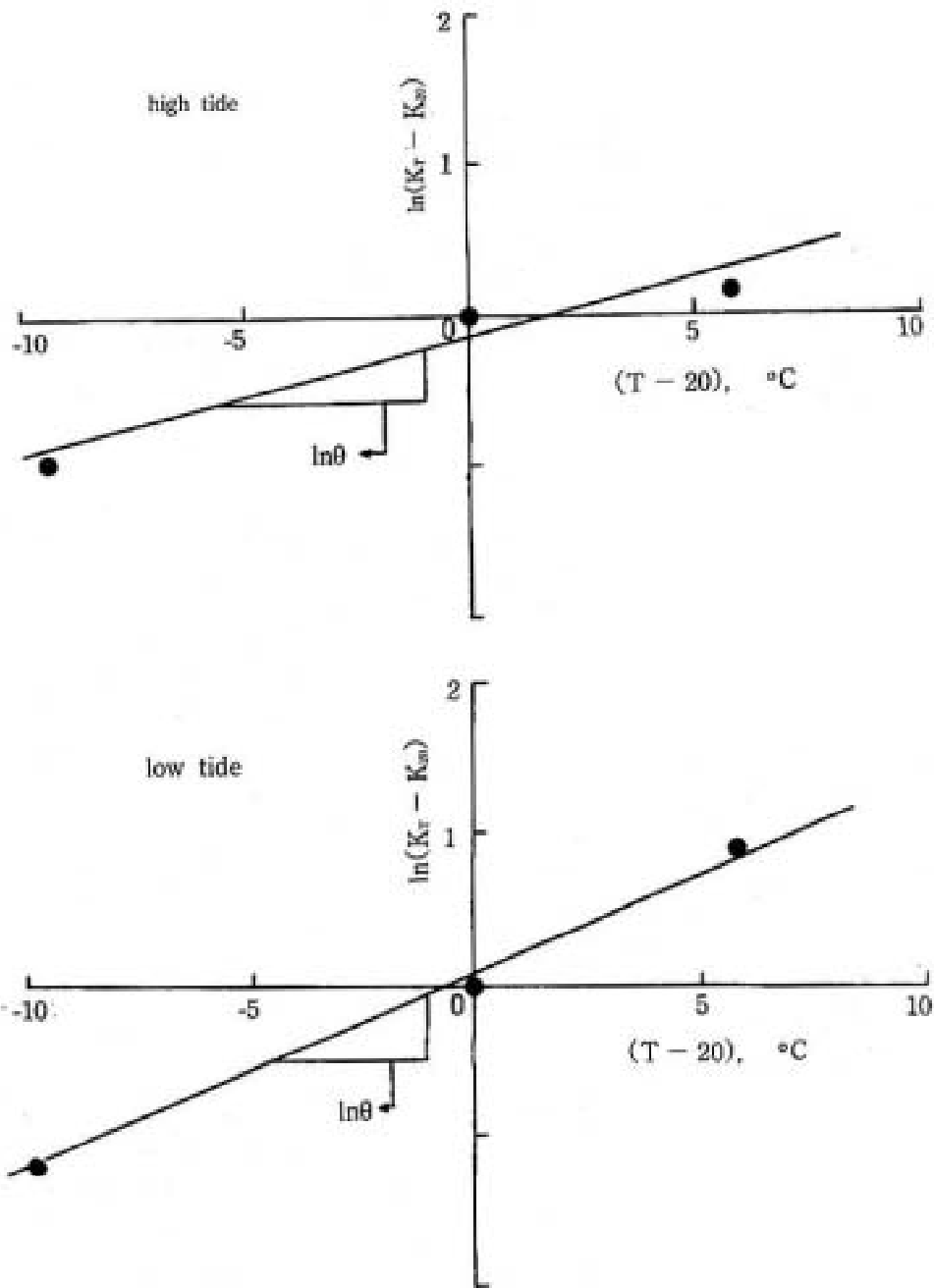


Fig. 6 Effect of temperature on decay coefficient.

2) BOD, NOD, DOD 및 SOD 負荷量이 DO에 미치는 影響 : 앞에서 求해진 Kd값에서 BOD, NOD, DOD 및 SOD의 負荷量들이 DO濃度에 미치는 影響을 살펴보면 '87. 5. 6 滿潮의 境遇 Fig. 7에서 보는바와같이 實測 data 및 BOD만이 DO에 미치는 影響을 나타내었으며, 또한 BOD와 NOD가 함께 미치는 影響을 考慮하면 BOD만을 考慮했을때보다 若干 낮아진다. 그리고 BOD, NOD 및 DOD가 DO에 미치는 影響은 BOD와 NOD만을 考慮했을때에 비해 數學的으로는 若干 낮아지나 그림相으로는 別 差異가 없다.

한편, BOD, NOD와 DOD를 考慮했을때의 값과 實際 測定값과의 差異만큼이 SOD의 影響으로 볼수있으므로 이로서 DO값에서 SOD의 값은 提出했다.

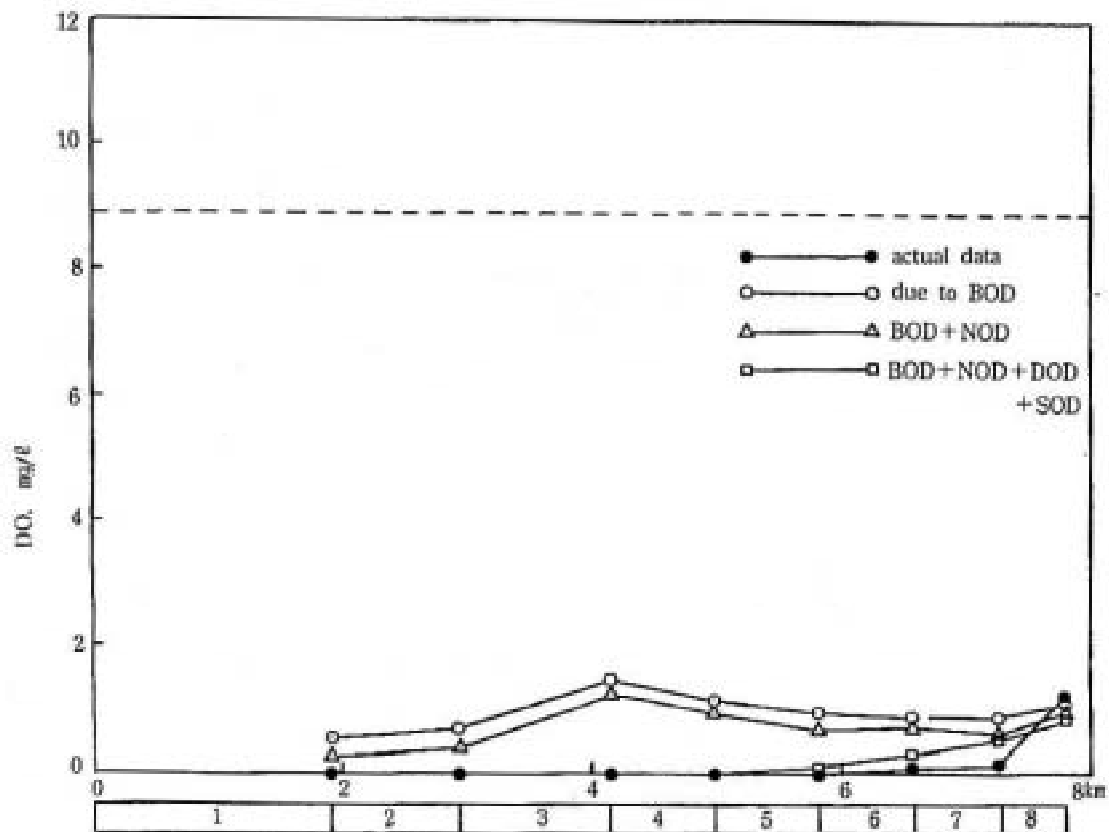


Fig. 7 Effect of BOD, NOD, DOD and SOD loadings on DO concentration in Sooyoung estuary(5 May '87, high tide).



같은 방법으로 '87. 5. 5 干潮와 '87. 8. 11 滿潮 및 干潮 그리고 '88. 2. 10 滿潮 및 干潮의 境遇에도 抽出하였다. 이로서 얻어진 豫測 SOD값들이 Table 6에 나타나있다.

Table. 6 Predicted SOD loading data for Model calibration on Sooyoug estuary program.

| Seg-<br>ment | '87. 5. 5 |      | '87. 8. 11 |      | '88. 2. 10 |      |
|--------------|-----------|------|------------|------|------------|------|
|              | H/T       | L/T  | H/T        | L/T  | H/T        | L/T  |
| 1            | 377       | 438  | 169        | 192  | 551        | 293  |
| 2            | 413       | 701  | 472        | 452  | 753        | 656  |
| 3            | 969       | 1066 | 1635       | 1013 | 2508       | 1405 |
| 4            | 330       | 297  | 952        | 221  | 538        | 856  |
| 5            | 45        | 171  | 278        | 148  | 453        | 1176 |
| 6            | 22        | 0    | 0          | 0    | 498        | 1071 |
| 7            | 0         | 0    | 0          | 0    | 0          | 0    |
| 8            | 0         | 0    | 0          | 0    | 0          | 0    |

SOD의 값은 實驗室的으로는 大槪 都市下水 沈澱物의 境遇 2~10  $go_2/m^3-day$  및 土壤의 境遇 0.05~0.1  $go_2/m^3-day$ <sup>11)</sup>를 나타내었는데 水産大學의 水營江底質<sup>16)</sup>은 平均 14.6  $go_2/m^3-day$ , 金의 東川底質<sup>17)</sup>은 17.1  $go_2/m^3-day$ 로 되어 있는데 Table 6의 SOD값을 面積當으로 換算한 結果 水營江의 1番에서 5番까지의 平均 SOD는 5.8  $go_2/m^3-day$ 로 나타났다.

3) 感應度試驗: '87. 5. 5 干潮의 境遇에 있어서 Kd, 本流負荷量, 本流流量 및 DOD의 boundary condition을 +50%와 -50%로 變化시킨 結果 各地點에서의 DO變化를 Fig. 8과 같이 나타내었다.

Fig. 8에서 보면 DOD의 boundary condition이 DO濃度變化에 對해서 가장 큰 影響을 미치고 있음이 나타났으며, 그다음이 Kd, 本流流量 本流負荷量順이었다. 水營江에 있어서는 分流보다도 容量이 큰 支流인 溫泉川의 流量을 變案하면 多少 變化가 있을 수가 있다.

또한 이러한 값들의 變化에 對해 살펴보면 下流로 갈수록 DOD의 boundary condition 變化에 의해 DO의 影響이 크게 나타났으며, Kd, 本流流量 및 本流負荷量 變化에 의해서는 DO의 影響이 갈수록 작았다. 이러한 것은 Kd값, 流量 및 負荷量이 下流로 갈수록 DO에 影響을 적게 미침을 알수있다.

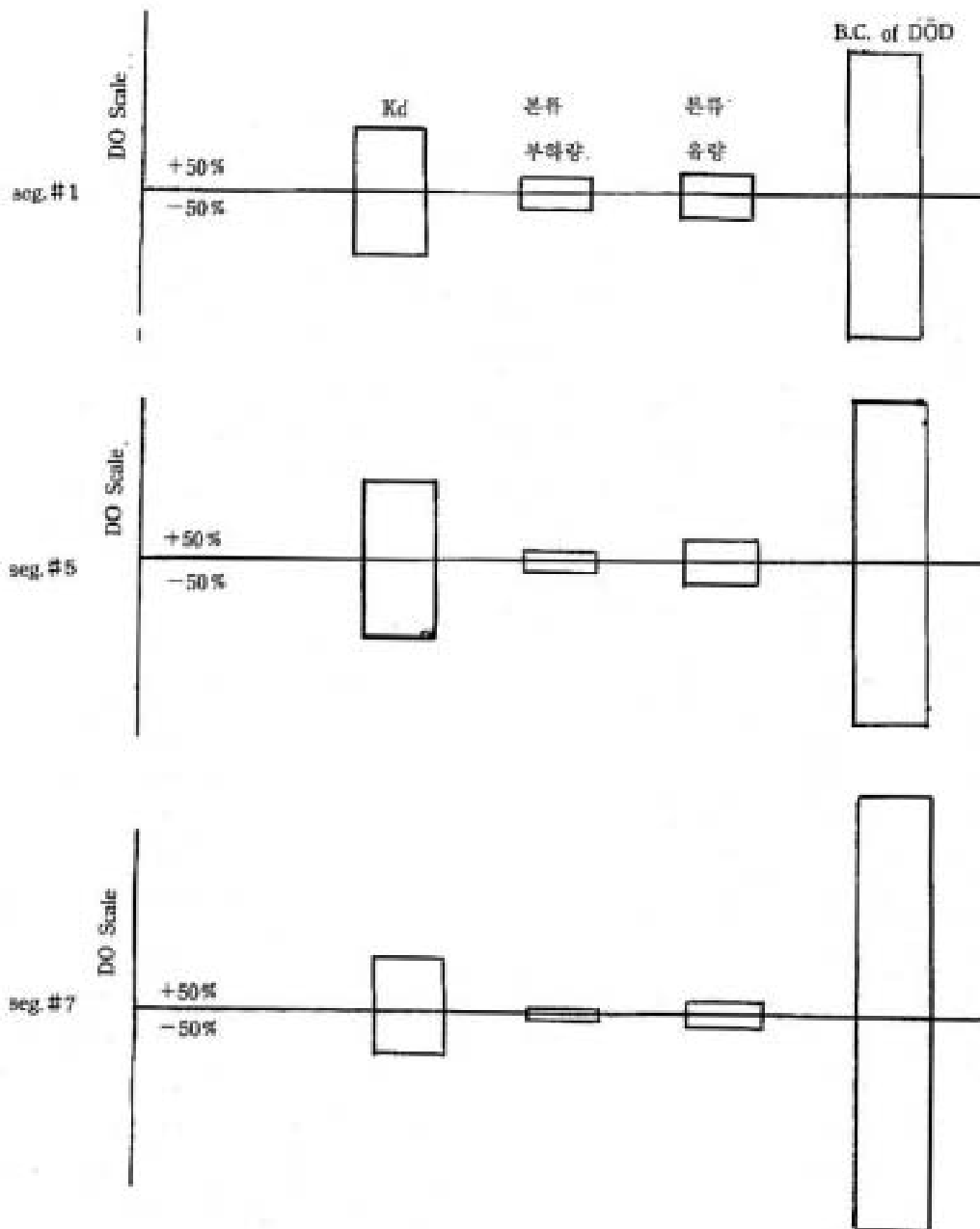


Fig. 8 Response test of Kd, loading, flow rate and boundary condition of DOD.

### 3. 水質管理指針樹立

1) 水産用水 1級基準 水質維持時：水營江의 水質을 環境保全法上의 水産用水 1級の 水質로 維持하려면 BOD는 3mg/l 以下 DO는 5mg/l 以上이 되어야 한다. 따라서, 現在의 水質이 水産用水 1級水質에 未達하므로 汚染負荷量을 除去해야 한다. 本研究에서는 本流와 支流의 汚染物 流入量을 같은 比率로 減少시켰다. 먼저 '87. 5. 5滿潮의 境週 BOD에 對해 살펴보면 Fig. 9에서 보는 바와 같이 BOD를 現在보다 減少시켰어야 한다. 따라서 現在 BOD負荷量의 90%를 除去하면 願하는 水質基準에 達하게 된다.

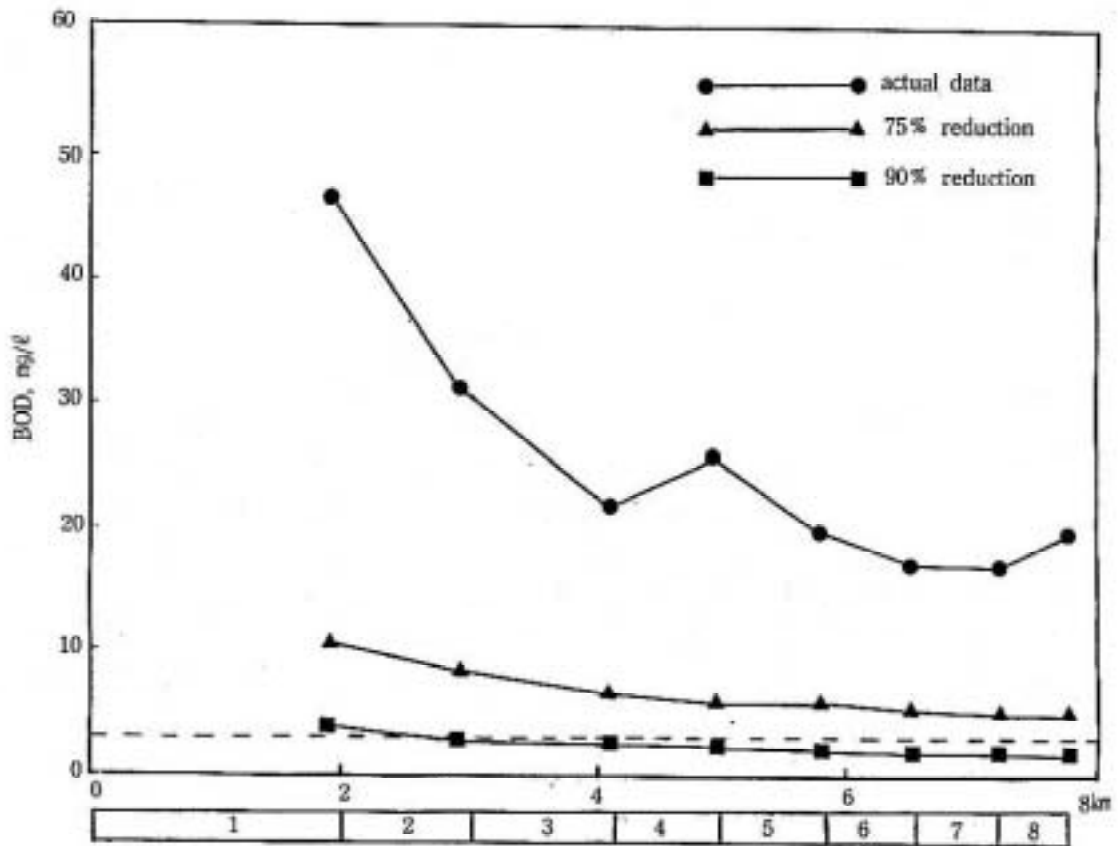


Fig. 9 Prediction of BOD reduction for obtaining 1st water for fisheries in terms of BOD(BOD 3mg/l).

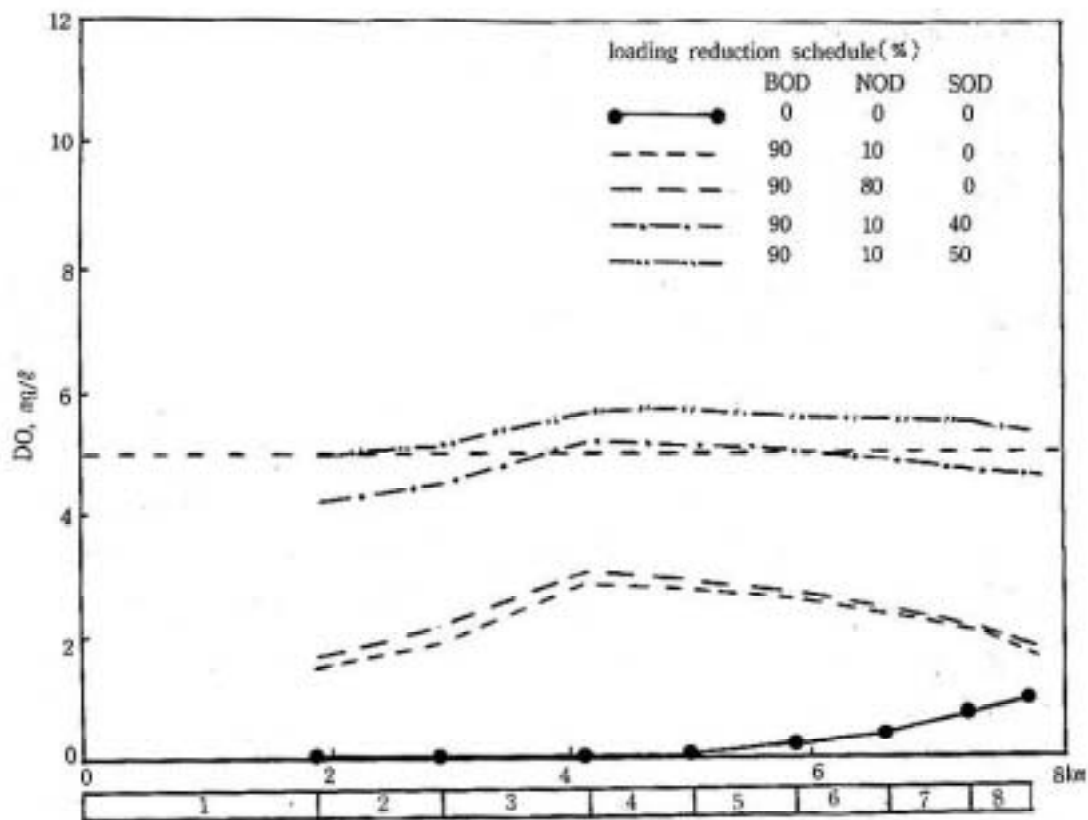


Fig. 10 Prediction of BOD, NOD and SOD reduction for obtaining 1st class water in terms of DO(5 May 1987, high tide).

여기서 다시 DO의 境遇를 보면 BOD 90%를 除去하기 爲히 行하는 1次處理時 同時에 除去되는 NOD 10%를 堪案하더라도 願하는 DO項의 水質基準에는 훨씬 未達된다. 만약 2次處理를 하여 NOD가 80% 除去된다하더라도 1次處理의 境遇와 別 差異가 없다. 따라서, BOD 90%, NOD 10%와 SOD 50%를 除去하면 願하는 BOD 및 NOD 水質基準에 들게된다. 이 過程은 Fig. 10에 잘 나타나 있다.

마찬가지로 各時間마다 水産用水 1級 基準水質을 維持하기 爲히 BOD, NOD 및 SOD 除去한 結果를 Table. 7에 나타내었다.

Table. 7 Loading reduction schedule to maintain 1st class water quality for aquatic use water.

|           |     | BOD(%) | NOD(%) | SOD(%) |
|-----------|-----|--------|--------|--------|
| '87. 5. 5 | H/T | 90     | 10     | 50     |
| (봄)       | L/T | 90     | 10     | 50     |
| '87. 8.11 | H/T | 90     | 10     | 50     |
| (여름)      | L/T | 95     | 10     | 50     |
| '87. 2.10 | H/T | 95     | 10     | 40     |
| (겨울)      | L/T | 95     | 10     | 40     |

Table에서 보는 바와 같이 季節別로 90~95%, SOD는 40~45%를 除去해야 水産用水1級의 水質을 維持할 수 있는 것으로 나타났다.

2) 生活環境 水質基準 維持時: 이러한 方法으로 環境保全法에 定한 生活環境基準인 BOD 10mg/l 以下, DO 2mg/l 以上을 維持하기 爲하여 BOD를 除去해 보았는데, 이에 對한 結果는 Table 8에 잘 나타나 있다. Table 8에서 보는 바와 같이 生活環境基準의 水質을 維持하기 爲해서는 BOD負荷量을 60~75% 除去시켜야 한다.

Table. 8 Loading reduction schedule to maintain life environmental criteria.(BOD %)

| 채수일자     | 기준              |             | BOD 10mg/l 이하 |
|----------|-----------------|-------------|---------------|
|          | DO만 2mg/l 이상 유지 | DO 2mg/l 이상 |               |
| 87. 5. 5 | H/T             | 40          | 60            |
| (봄)      | L/T             | 40          | 60            |
| 87. 8.11 | H/T             | 20          | 60            |
| (여름)     | L/T             | 30          | 70            |
| 87. 2.10 | H/T             | 30          | 70            |
| (겨울)     | L/T             | 10          | 75            |

3) 水管下水終末處理場의 影響: '88. 2. 10의 境遇에 있어 水管下水終末處理場 稼動後에 水管江 流量의 90%, 溫泉川 流量의 80%를 BOD 9mg/l, DO 10mg/l 로 處理한다고 假定한 다면 BOD와 DO 濃度는 Fig 11 및 Fig 12와 같이 나타난다.

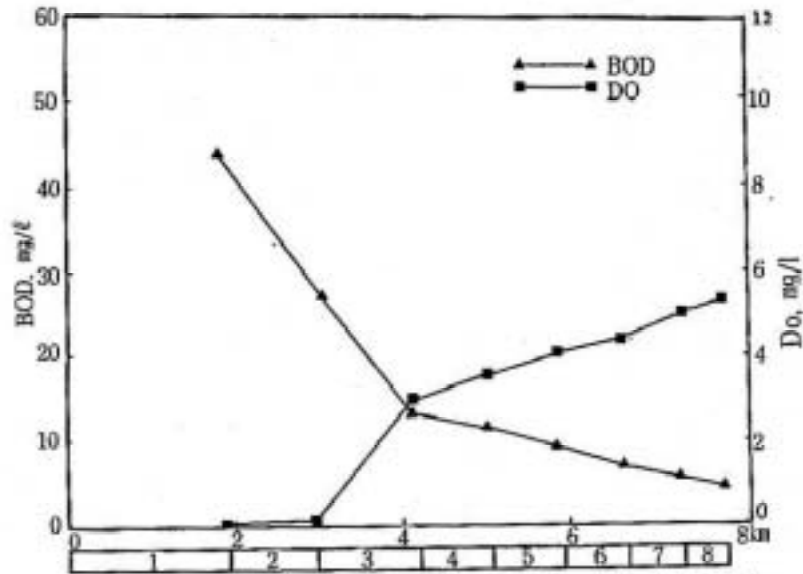


Fig. 11 Prediction of BOD and DO concentration after operation Sooyoung wastewater treatment plant on 10 Feb. '88, high tide.

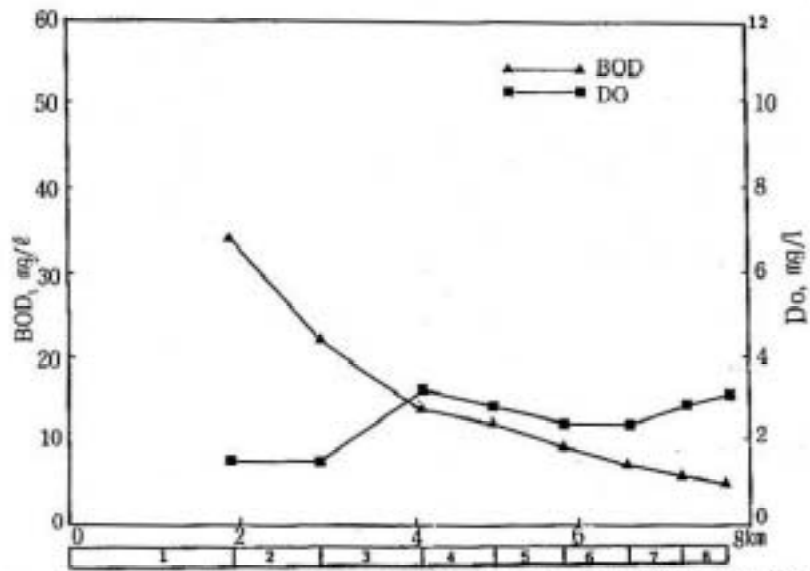


Fig. 12 Prediction of BOD and DO concentration after operation Sooyoung wastewater treatment plant on 10 Feb. '88, low tide.

## V. 結 論

水營江 河口를 87年 5月부터 88年 2月에 걸쳐 調査 分析한 結果 다음의 結論을 얻었다.

1. 水營江河口의 分散係數는 1.63~22.16km/d의 값을 갖는다.
2. 再曝氣係數는 0.10~1.80/day의 값을 갖고, 下流로 갈수록 大體적으로 減少하는 傾向을 보였다.
3. BOD, org-N,  $\text{NH}_4\text{-N}$  및  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 汚染負荷量은 本流인 水營江上流보다 支流인 溫泉川으로 부터의 流入量이 3~7배 더 많다.
4. 分解常數(=脫酸素係數)는 다음 範圍 값으로 排出되었다.
  - 1)  $K_d$ (BOD, decay coeff) : 0.030~0.230/day
  - 2)  $K_n$ (org-N decay coeff) : 0.001~0.075/day
  - 3)  $K_n$ ( $\text{NH}_4\text{-N}$  decay coeff) : 0.003~0.030/day
  - 4)  $K_n$ ( $\text{NO}_3\text{-N}$  decay coeff) : 0.050~0.300/day
5. 感應度 試驗結果 DO濃度變化에는 DOD의 boundary condition 範圍가 가장 큰 影響을 미치고, 그 다음이  $K_d$ , 本流流量, 本流汚染物負荷量 順으로 影響을 주는 것으로 나타났다.
6. BOD基準으로 水營江의 水質을 水産用水 1級의 水質로 改善하기 위해서는 現在 流入되는 BOD負荷量의 90~95%를 除去해야 한다.
7. DO基準으로 水營江의 水質을 水産用水 1級水質로 維持하기 위해서는 BOD 90~95%와 NOD 10%를 1次處理로 除去하고 現在의 sediment의 40~50%를 除去해야 한다.
8. 沈澱物의 酸素消費速度는 1~5區間까지의 平均이  $5.8\text{go}_2/\text{m}^3\text{-day}$ 로 多少 높았다.

## 參 考 文 獻

- 1) 요트競技物 建設事業所, "요트競技場 水質淨化施設報告書", 釜山市, 1985.
- 2) 釜山直轄市, "市政白書", p432, 1984.
- 3) Roemer, L. A. and P. R. Gigure and D. E. Evenson, "Computer program documentation for the Stream quality model Qual II", Water Resources Investigation, St.Louis Miss, 1977.
- 4) Bouer, D.P. and M.E.Jennings, "One dimension steady state stream water quality model USGS", Water Resources Investigation, St.Louis Miss, 1979.

- 5) Smith, D.J., "Water Quality for river reservoir system U.S. Army corps of Engineers," The Hydrologic Engineering Center California, 1978.
- 6) Thomann, R.V., "System analysis and water quality management" McGraw-Hill Book Company, 1974.
- 7) Thomann, R.V., "mathematical Model for Dissolved Oxygen", Jour.san. Eng.Div.ASCE, Vol. 89, No,SA6,Oct, 1963, p1-30.
- 8) Thomann, R.V., "The use of Systems Analysis to Describe the time Variation of Dissolved Oxygen in a tidal stream", ph.D.Diss. New York University. Dept.of Meteor Ocean, 1962. 120pp. + xii.
- 9) Bunce, Ronard E. and Helting, Lt., "A steady State Segmented Estuary model", Tech Paper No. 11, FWPCA, U.S. Dept, of hteint, Mid. atl, Reg. charlottesville, va.
- 10) Donald J. O'Connor and J.A., Mueller, "Basic models of natural water systems applications to waste load allocations", Manhattan college, 1981.
- 11) Thomann, R.V., "System analysis and water quality management", McGraw-hill Book Company. 104. 1974.
- 12) 環境廳, "環境汚染公定試験法(水質分野)", 1983.
- 13) Arnold E. Greenberg, Joseph. J. Connors and David Jenkins", Standard Method for APHA-AWWA-WPCF", 1985.
- 14) "Simplified mathematical modeling of water quality", Prepared by hydroscience, Inc. under sub-contract with The Mitre Corporation-for the U.S., EPA, Washing D.C., March 1971.
- 15) Nelson Leonard Nemerow, "Scientific stream pollution analysis", Hemispheres Publishing Corporation, 1974.
- 16) 釜山水産大學 衛生工學實驗室, "水營江河口の 水質特性과 水質 Model에 관한 研究", 1988. ◦
- 17) 金泰潤, "釜山市內 東川下流域의 底質特性이 水質에 미치는 影響" 1986.
- 18) Wastewater Engineering, "Treatment, Disposal, Reuse" McGraw-Hill Book Company.



Appendix 1. Water quality of Sooyoung estuary

| tide                 | sec-<br>tion | BOD <sub>5</sub><br>mg/ℓ | org-N<br>mg/ℓ | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N<br>mg/ℓ | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N<br>mg/ℓ | DO<br>mg/ℓ | pH   | sal-<br>inity<br>% |
|----------------------|--------------|--------------------------|---------------|---|---|------------|------|--------------------|
| H/T<br>(*87<br>5/5)  | 1            | 46.20                    | 1.23          | 16.00                                   | 0.42                                    | 0          | 6.90 | 5.4                |
|                      | 2            | 30.70                    | 0.56          | 12.10                                   | 0.24                                    | 0          | 7.06 | 6.6                |
|                      | 3            | 21.70                    | 0.43          | 10.50                                   | 0.25                                    | 0          | 7.08 | 7.0                |
|                      | 4            | 25.50                    | 0.69          | 8.80                                    | 0.27                                    | 0          | 7.08 | 8.8                |
|                      | 5            | 19.70                    | 0.43          | 8.80                                    | 0.24                                    | 0          | 7.05 | 8.9                |
|                      | 6            | 17.00                    | 0.66          | 9.90                                    | 0.16                                    | 0.10       | 6.98 | 9.6                |
|                      | 7            | 17.00                    | 0.50          | 8.70                                    | 0.23                                    | 0.12       | 7.00 | 10.4               |
|                      | 8            | 19.40                    | 0.40          | 7.20                                    | 0.18                                    | 1.27       | 7.10 | 12.3               |
| L/T                  | 1            | 37.00                    | 1.18          | 13.30                                   | 0.67                                    | 0          | 6.94 | 3.1                |
|                      | 2            | 29.40                    | 0.75          | 11.80                                   | 0.43                                    | 0          | 7.02 | 3.8                |
|                      | 3            | 31.00                    | 0.68          | 11.40                                   | 0.33                                    | 0          | 7.02 | 4.4                |
|                      | 4            | 25.30                    | 0.79          | 10.67                                   | 0.44                                    | 0          | 7.08 | 7.0                |
|                      | 5            | 26.10                    | 0.57          | 9.40                                    | 0.32                                    | 0          | 7.05 | 7.8                |
|                      | 6            | 16.00                    | 0.56          | 8.20                                    | 0.34                                    | 0          | 7.04 | 9.6                |
|                      | 7            | 17.30                    | 0.60          | 6.00                                    | 0.37                                    | 0.12       | 7.04 | 10.1               |
|                      | 8            | 18.70                    | 0.59          | 5.50                                    | 0.15                                    | 0.37       | 7.07 | 10.2               |
| H/T<br>(*87<br>8/11) | 1            | 53.10                    | 2.80          | 22.40                                   | 3.17                                    | 0.30       | 7.02 | 3.9                |
|                      | 2            | 30.10                    | 1.21          | 11.60                                   | 1.42                                    | 0.47       | 7.00 | 13.3               |
|                      | 3            | 26.21                    | 0.98          | 10.80                                   | 1.02                                    | 1.30       | 6.98 | 14.3               |
|                      | 4            | 24.03                    | 0.70          | 10.11                                   | 0.85                                    | 1.35       | 6.99 | 16.7               |
|                      | 5            | 20.43                    | 0.84          | 9.42                                    | 0.70                                    | 1.50       | 7.04 | 16.5               |
|                      | 6            | 10.21                    | 0.94          | 9.33                                    | 0.71                                    | 2.25       | 7.01 | 16.0               |
|                      | 7            | 12.80                    | 0.90          | 8.80                                    | 0.54                                    | 2.47       | 6.96 | 15.3               |
|                      | 8            | 14.02                    | 0.70          | 8.21                                    | 0.44                                    | 2.70       | 6.93 | 23.9               |

| tide                   | sec-<br>tion | BOD <sub>5</sub><br>mg/ℓ | org-N<br>mg/ℓ | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N<br>mg/ℓ | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N<br>mg/ℓ | DO<br>mg/ℓ | pH   | sal-<br>inity<br>‰ |
|------------------------|--------------|--------------------------|---------------|---|---|------------|------|--------------------|
| L/T<br>( ' 87<br>8/11) | 1            | 60.10                    | 2.71          | 25.73                                   | 2.54                                    | 0.03       | 7.00 | 4.6                |
|                        | 2            | 46.68                    | 2.50          | 21.80                                   | 2.46                                    | 0.03       | 6.96 | 7.4                |
|                        | 3            | 36.09                    | 2.10          | 16.33                                   | 2.04                                    | 0.13       | 6.98 | 12.0               |
|                        | 4            | 23.91                    | 1.83          | 14.72                                   | 1.74                                    | 0.13       | 6.92 | 12.5               |
|                        | 5            | 29.49                    | 1.59          | 12.00                                   | 1.60                                    | 0          | 7.03 | 14.7               |
|                        | 6            | 26.33                    | 1.21          | 11.80                                   | 1.96                                    | 0.05       | 7.01 | 14.1               |
|                        | 7            | 18.52                    | 0.96          | 10.11                                   | 1.16                                    | 0.67       | 7.05 | 16.0               |
|                        | 8            | 15.41                    | 0.71          | 7.84                                    | 1.11                                    | 1.10       | 7.01 | 21.3               |
| H/T<br>( ' 88<br>2/10) | 1            | 65.31                    | 1.57          | 13.60                                   | 0.82                                    | 0.38       | 6.69 | 6.2                |
|                        | 2            | 44.90                    | 1.29          | 10.80                                   | 0.79                                    | 0.38       | 6.93 | 15.9               |
|                        | 3            | 36.59                    | 1.34          | 9.50                                    | 0.79                                    | 1.19       | 7.07 | 20.4               |
|                        | 4            | 22.00                    | 0.95          | 6.60                                    | 0.69                                    | 2.52       | 7.16 | 17.6               |
|                        | 5            | 21.02                    | 0.50          | 4.60                                    | 0.69                                    | 2.98       | 7.16 | 29.6               |
|                        | 6            | 25.43                    | 0.75          | 3.05                                    | 0.65                                    | 3.23       | 7.14 | 14.9               |
|                        | 7            | 22.27                    | 0.68          | 4.00                                    | 0.55                                    | 4.10       | 7.19 | 19.7               |
|                        | 8            | 10.58                    | 0.34          | 2.15                                    | 0.51                                    | 4.99       | 7.47 | 19.9               |
| L/T                    | 1            | 69.85                    | 2.80          | 18.33                                   | 1.16                                    | 0.33       | 7.10 | 5.2                |
|                        | 2            | 49.70                    | 2.10          | 15.70                                   | 0.78                                    | 0.64       | 7.14 | 24.2               |
|                        | 3            | 40.00                    | 1.72          | 13.31                                   | 1.04                                    | 2.02       | 7.30 | 15.5               |
|                        | 4            | 33.74                    | 1.50          | 12.90                                   | 0.87                                    | 2.20       | 7.20 | 17.0               |
|                        | 5            | 28.89                    | 1.31          | 12.24                                   | 0.54                                    | 1.32       | 7.18 | 21.4               |
|                        | 6            | 24.39                    | 1.36          | 9.60                                    | 0.44                                    | 1.40       | 7.14 | 23.7               |
|                        | 7            | 19.70                    | 1.39          | 9.10                                    | 0.54                                    | 1.95       | 7.18 | 25.2               |
|                        | 8            | 12.53                    | 1.12          | 7.32                                    | 0.56                                    | 2.94       | 7.22 | 26.8               |

Appendix 2 Sooyoung estuary program abbreviations  
and flow sheet.

|        |   |
|--------|---|
| NOSEG  | = number of segment   |
| K11    | =K11 (/day)   |
| K12    | =K12 (/day)   |
| NOPT   | =alpha option : =1.0 backward differences<br>=0.5 central differences |
| NSYS   | =system option : 1=single system, 2=coupled system                    |
| AUP    | =cross sectional area @ initial segment                               |
| QUP    | =flow @ initial segment   |
| EUP    | =dispersion coeff. @ initial segment                                  |
| ALPUP  | =alpha @ initial segment  |
| NSEG   | =segment number   |
| XL     | =segment length   |
| VOL    | =segment volume   |
| AREA   | =area @ segment(I, I+1)   |
| Q      | =flow @segment(I, I+1)  |
| E      | =dispersion coeff. @ segment(I, I+1)                                  |
| ALPHA  | =alpha @ segment(I, I+1)  |
| K22    | =K22 @ segment(I) (/day)  |
| BC1UP  | =boundary condition for CBOD at upstream                              |
| BC1DWN | =boundary condition for CBOD at downstream                            |
| BC2UP  | =boundary condition for DOD at upstream                               |
| BC2DWN | =boundary condition for DOD at downstream                             |
| V(K)   | =BOD at each segment  |
| S(K)   | =DOD at each segment  |
| D1(K)  | =CBOD loads   |
| D2(K)  | =DOD loads  |

