

〈論 文〉

洛東江 中流部の 自淨能力에 對한 研究

— 溶存酸素를 중심으로 —

Study on Natural Purification in the
Midstream of Naktong River

李 弘 根*

Hong-Keun Lee

韓 振 錫**

Jin-Suk Han

Abstract

Measuring the river flow and water quality in the midstream of the Naktong River, the natural purification status is examined through the analyses of the elements which affect the variation of dissolved oxygen, and DO model is evaluated to the midstream reach of the river. The major results of this study are as follows; the purification factor of the river is relatively high, it is worried over eutrophication considering much production of algae, and it is evaluated that important factors affecting the DO value computed by the proposed DO model are in order of reaeration coefficient, carbonaceous BOD and deoxygenation constant.

1. 諸 論

河川의 主汚染源인 都市下水, 工場廢水, 農業排水 및 自然的인 汚染物質의 排出로 부터 惹起되는 液狀廢棄物은 河川으로 放流된 後, 時間이 經過함에 따라 自然的으로 그 特性이 變化한다. 이와같은 變化의 特性에 依하여 汚染된 河川은 良質의 水質로 回復되는 能力, 即 自淨能力을 가지게 된다. 自淨過程의 側面에서 液狀廢棄物을 大別하면, 無機物廢水, 微生物廢水, 放射能廢水, 熱廢水, 有機物廢水 등으로 分類될 수 있다. 이러한 廢水中 有機物質의 成分이 包含된 有機物 廢水는 그 排出源이 多様하니, 主로 都市下水와 工場廢水에 基因되는 경우가 많다. 都市下水와 工場廢水는 量的으로 가장 많이 排出되어 河川汚染의 主犯이 되고 있으며, 또한 點汚染源으로서 集中的으로 排出되고 있기 때문에 廢水排出地點의 下流區間에서는 河川의 汚染이 深化되고 있다. 따라서 有機物 廢水에 對한 河川의 自淨能力에 對한 研究는 河川生態界의 保全, 水資源의

利用, 下水處理計劃等 水質管理計劃에 基本的으로 施行되어야 할 課題이다.

河川의 水質變化와 自淨能力을 評價하기 爲해서 水生環境狀態를 잘 나타내는 溶存酸素(DO)의 把握이 重要하다. DO의 重要性은 美學的인 理由와 水中의 汚染物質의 酸化 및 水中生物의 生存과 成長을 爲해 適當量의 DO가 維持되어야 하기 때문이다. 그러므로 DO는 水質評價上 가장 重要한 水質指標의 하나이다.

河川의 自淨能力에 對한 研究는 1925年 Streeter와 Phelps¹⁾가 河川에 對한 DO의 平衡方程式을 提案한 以後, 活潑히 進行되어 왔다. Vladimir와 Peter(1975)²⁾가 狹小한 河川에서 自淨能力에 對한 模型을 提示하였고 Holesmes(1982)³⁾는 産業廢水가 흐르는 河川의 水質模型을 檢討分析하였다. 또한 Richard(1978)等⁴⁾은 河川에서의 窒化作用을 究明하였으며, 藻 Donald等(1970)⁵⁾은 河川에서의 藻類의 光合成에 對한 研究가 있었다. 이와같은 研究는 河川의 自淨能力을 分析하기 爲한 模型의 提示인 것이다. 우리 나라에서 河川의 自淨能力에 對한 研究는 1970年代 初半부터 었다. 威(1973)⁶⁾은

* 서울大學校 保健大學院 教授, 工博

** 國立環境 研究所

琴湖江에서, 金과 李(1974)⁷⁾는 炭川에서 脫酸素係數와 再曝氣係數를 推定 또는 實測하여 自淨關係를 分析하였고, 李等(1980)⁸⁾은 洛東江水系의 水質保全을 爲한 調査中 河川의 自淨因子에 對한 評價가 있었다. 李等(1982)⁹⁾은 洛東江을 包含한 5個河川에 對하여 實測과 實驗을 土臺로 DO模型에 關係되는 係數를 算出하고 河川區間別로 自淨關係를 評價하였다. 海洋開發研究所(1978)¹⁰⁾에서는 漢江과 洛東江에 對하여 自淨率을, 洪等(1979)¹¹⁾은 漢江支流인 왕숙천과 그 인근 一帶의 漢江本流에 對한 自淨能에 對하여 分析한 바 있다. 國內의 河川에 對한 自淨研究에서는 實測結果를 利用한 경우보다 推定을 통한 研究가 많은 편이다.

本 研究는, 洛東江 中流部에 해당되는 倭館橋에서 慶北 鎭靜郡 台峯에 이르는 水域에서, DO變化에 影響을 미치는 有機物質의 酸化作用, 窒化作用, 再曝氣에 對한 調査를 實施하여 動力學的 關係를 分析하고 自淨能力을 評價하며, 藻類의 光合成과 呼吸率을 究明하고 本流에 對한 DO의 模型을 評價하는데 目的이 있다. 이와같은 研究의 結果는 洛東江 中流部 水域의 水質管理에 必要한 資料가 될 것으로 期待한다.

2. 分析理論

2.1. 溶存酸素의 消滅

河川水에서 DO의 消滅은 여러가지 現象에 依해서 일어나지만 모든 現象이 同時에 發生하는 것은 아니다. DO消滅에 많은 影響을 끼치는 現象은 微生物에 依한 有機物의 分解, 藻類의 呼吸, 河低沈澱物의 分解 및 無機物質의 酸化等이다.

水中汚染物質 가운데 微生物에 依해서 分解可能한 有機物質의 量을 酸素의 量으로 換算한 값이 BOD인데, 第1단계 BOD 또는 炭素 BOD(CBOD)와 第2단계 BOD 또는 窒素 BOD(NBOD)로 區分되고 있다.

1) CBOD에 對한 脫酸素 係數(K_1)

水溫 20°C의 條件에서 最終 CBOD를 L (mg/l), 脫酸素係數를 K_1 (/day), 時間을 t (day)라 하면 다음과 같은 1次 反應式으로 表現되고 있다.

$$\frac{dL}{dt} = K_1 L \dots\dots\dots(2.1)$$

上式을 積分하면

$$L_t = L_0 e^{-K_1 t} \dots\dots\dots(2.2)$$

인 指數減少 曲線이 되는데 여기서 L_t 와 L_0 는 t 日과 初期의 最終 CBOD이다. 따라서 t 日 동안에 消耗된 酸素量 y_t 는 다음과 같다.

$$y_t = L_0(1 - e^{-K_1 t}) \dots\dots\dots(2.3)$$

反應係數인 CBOD에 對한 脫酸素係數 K_1 은 式(2.2) 또는 式(2.3)을 利用하여 L_0 와 함께 求하게 되는데 實驗을 通하여 連續測定된 y_t 의 資料가 必要하다.

數直解析을 通해 L_0 와 K_1 을 求하기 위해 提案된 方法으로는 最小自乘法(1931)¹²⁾, 기울기法(1937)¹³⁾, 모멘트法(1950)¹⁴⁾, 對數法(1953)¹⁵⁾, 一般實驗室方法(General Laboratory Method, 1967)¹⁶⁾, 單純座標法(Simple Graphic Method, 1950)等¹⁷⁾ 여러가지 方法이 提案되었다. 本 研究에서 L_0 와 K_1 을 算出하는데 適用한 方法은 一般實驗室 方法과 單純座標法이다.

(1) 單純座標法(simple Graphic Method)

1950年 Thomas에 依해 提案된 方法으로 式(2.3)을 다음과같이 같이 變換시킨 것이다.

$$\left(\frac{t}{y}\right)^{1/3} = (K_1 L)^{-1/3} + (K_1^2/6L^{1/3})t \dots\dots\dots(2.4)$$

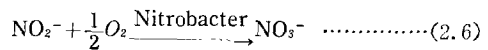
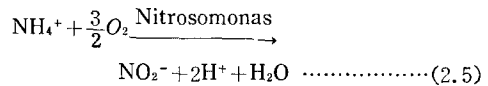
t 에 대한 $\left(\frac{t}{y}\right)^{1/3}$ 에 關係는 直線式으로 나타나며 이 直線의 절편과 기울기를 求하여 L 과 K_1 을 求한다.

(2) 一般實驗室 方法(General Laboratory Method)

BOD를 測定하여 半對數紙上에서 縱軸에 BOD값을, 橫軸에 時間을 取하여 直線을 긋고 기울기로부터 K_1 값을 求하는 것이다.

2) 窒酸化率(K_n)

NBOD는 Nitrosomonas와 Nitrobacter에 依해 다음과 같은 2 단계 窒化作用에 必要한 酸素量을 말한다.



上記式에서 窒化作用에 必要한 溶存酸素는 암모니아性 窒素 1mg/l에 對하여 4.57mg/l에 해당된다.

河川에서의 窒化作用率 K_n 을 求하는 方法으로는 一般的인 BOD實驗을 長期間施行하여 NBOD曲線을 作成하여 求하는 方法과, 河川區間의 流下時間을 考慮하여 두 地點의 암모니아性 窒素의 變化로부터 求하는 方法이 있다. 後者의 方法이 前者의 方法에 비해 特性이 反映되고 간편하므로 더욱 바람직한 것으로 알려져 있다.

河川에서의 窒化作用은 매우 複雜하여 어려움이 많다. 窒化作用을 나타내는 여러 提案된 數式中 Gameson(1959)¹⁸⁾에 依한 다음의 1次 反應式이 가장 간략화된 것이다.

$$\frac{dN}{dt} + K_n N = 0 \dots\dots\dots(2.7)$$

여기서 N 은 最終 NBOD(mg/l)이며 $N=4.5(NH_3-$

N)의 關係를 가진다.

2.2. 河川水의 再曝氣

空氣와 接하는 水面을 通하여 空氣中の 酸素가 水中으로 溶解되는 現象인 再曝氣는 溶存酸素의 飽和不足量, 流水의 狀態, 河川의 形狀 및 水溫等에 따라 數量이 달라진다. 再曝氣時 時間別酸素가 補充되는 率인 再曝氣係數 K_2 는 여러 實驗研究를 通해 얻어진 式으로부터 推定하여 求해지는 경우가 많다.

O'Connor와 Dobbins(1958)¹⁹⁾는 film理論과 亂流理論을 組合하여 20°C의 水溫條件下에서 水深의 條件別로 다음과 같은 式을 提案하였다.

$$K_2 = \frac{241,300 \times D_L^{1/2} \times S^{1/2} \times 10^4}{H^{5/4}}; \quad H \leq 1.5m \dots\dots\dots(2.8)$$

$$K_2 = \frac{86,100 \times (D_L V)^{1/2} \times 10^4}{H^{3/2}}; \quad H > 1.5m \dots\dots\dots(2.9)$$

여기서 D_L 은 分子擴散係數로 $2.037 \times 10^{-9} m^2/sec$ 의 값을 가지며 S 는 水面傾斜 H 는 平均水深(m)이다.

Krenkel과 Thackson(1969)²⁰⁾은 流速 V 가 0.03~1.52m/sec이고 水深 H 가 0.12~3.35m인 範圍에서 K_2 의 값을 推定하는 다음식을 提示하였다.

$$K_2 = 24.87 \left[1 + \left(\frac{V}{\sqrt{gH}} \right)^{1/2} \right] \sqrt{\frac{gS}{H}} \dots\dots\dots(2.10)$$

여기서 g 는 重力加速度(m/sec²)이다.

또한 Churchill(1962)²¹⁾, Isaacs(1968)²²⁾, Owens(1964)²³⁾는 河川의 水理學的 變數인 流速 V (m/sec)와 平均徑深 R (m)等을 關係시켜 다음과 같은 式을 提示하였다.

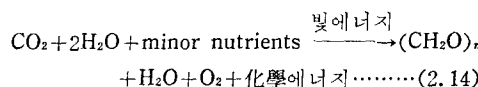
$$\text{Churchill式: } K_2 = 26.71 V^{0.969} R^{-1.673} \dots\dots(2.11)$$

$$\text{Isaacs式: } K_2 = 11.8 V H^{-1.5} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\text{Owens式: } K_2 = 87.9 V^{0.67} H^{-1.485} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.3 藻類의 光合成과 呼吸

河川에서 光合成을 하는 綠色植物의 成長과 死滅은 制限된 水中 DO에 큰 影響을 미친다. 光合成時藻類의 autotrophic metabolic process는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



光合成에 必要한 4,000Å~7,000Å의 波長을 가진 빛 에너지는 藻類의 Chlorophyll에 吸收되어 水中의 DO를 增加시킨다. 藻類의 呼吸은 DO를 消耗하며 光合成과는 달리 낮과 밤동안 계속된다. 낮 동안의 呼吸

에 의한 水中 DO의 消耗은 매우 적다. 이와같은 水中의 藻類가 河川의 DO變化에 미치는 影響은, 藻類의 密度와 分布, 햇빛의 強度, 水深, 濁度, 水溫, DO濃度 등 여러가지 要因에 依해 달라진다. 그러므로 光合成과 呼吸으로 인한 DO量을 計算하는데는 많은 어려움이 있다.

O'Connor(1971)²⁴⁾는 藻類의 光合成에 依해 供給되는 DO의 量을 다음과 같은 週期函數로 提示하였다.

$$P(t) = P_m \left(\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin \pi \frac{t}{P} - \frac{2}{3\pi} \cos 2\pi \frac{t}{P} \right) \quad (2.15)$$

여기서 $P(t)$ 는 時間t(day)에서의 DO發生率(mg/l/day)이며, P_m 은 最大 DO 發生率(mg/l/day)이고 P 는 光合成이 發生되는 時間(day)을 表示한 것이다. t 가 $1-P \leq t \leq 1$ day인 경우 即, 햇빛이 없을때는 $P(t)=0$ 가 된다.

또한 O'Connor는 藻類의 呼吸을 하루 24時間 全期間에 걸쳐 一定하게 보고 다음과 같은 關係式을 提案하였다.

$$\frac{\partial D}{\partial t} = R \quad (2.16)$$

여기서 D 는 溶存酸素不足量(mg/l)이며 R 은 藻類의 呼吸으로 인한 DO消耗量(mg/l/day)이다.

2.4. DO模型

河川의 DO模型은 Streeter와 Phelps(1925)에 依해 有機物의 分解現象과 水面을 通한 酸素의 再曝氣만을 考慮하여 간단한 公式이 提案된 以後 河川의 DO 變化를 推定하기 爲한 研究가 繼續되어 왔다.

DO를 包含한 水質의 確定的 模型(deterministic model)의 一般式은 質量의 平衡方程式을 根據로 하며 特定水質과 水質에 影響을 미치는 시스템構成의 相互作用이 주어질 경우 다음과 같이 表現된다.

$$(Adx) \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial (ADL \frac{\partial c}{\partial x})}{\partial x} dx - \frac{\partial (AUC)}{\partial x} dx + (Adx) \frac{dc}{dt} \pm S \quad (2.17)$$

A 는 流路의 斷面積, 汚染物質의 濃度, D_L 은 擴散係數, x 는 距離, t 는 流下時間, U 는 흐름方向的 流速, S 는 單位時間당 汚染源에 依한 汚染發生量과 沈澱量을 가리킨다.

실제 河川의 汚染物質移動에 있어서 擴散에 依한 影響은 매우 微弱하므로 無視하며, $S=0$ 와 流路의 斷面積 A 를 一定한 것으로 假定하고 式(2.17)에 CBOD의 酸素消耗, 窒化作用, 再曝氣, 藻類의 光合成과 呼吸等에 對한 反應式을 代入하면 DO의 水質模型에 對한 微分方程式은 다음식과 같이 된다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} + K_2(C_s - C) - K_1L - K_nN + P(t) - R \quad (2.18)$$

여기서 C 와 C_s 는 各各 DO의 溫度와 泡和濃度를 나타내는 것이고 一般的으로 $U, P(t), L, N, R$ 은 x 와 t 의 函數이다. K_2, K_1 및 K_n 은 反應係數이나 全河川區間에서는 그 값이 變하게 되므로 上式을 適用시키기 爲해서는 이들 係數가 一定하다고 생각되는 區間으로 分割되어야 하는 制限이 있다. 이 制限된 區間에서 U 와 R 은 一定한 常數로看做되며 $P(t)$ 는 (2.15)式이고, L 과 N 은 (2.2)式과 (2.7)式的 積分結果式에서 $t = \frac{X}{U}$ 로 變換시킨 다음의 式으로 表示된다.

$$L = L_0 e^{-K_1(X/U)} \quad (2.19)$$

$$N = N_0 e^{-K_n(X/U)} \quad (2.20)$$

DO 不足量 (DO deficit) D 는 $D = C_s - C$ 로 定義되므로 (2.18)式을 積分하면 다음과 같은 式을 얻을 수 있다.

$$D = D_0 e^{-K_2(X/U)} + \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} [e^{-K_1(X/U)} - e^{-K_2(X/U)}] + \frac{K_n N_0}{K_2 - K_n} (e^{-K_n(X/U)} - e^{-K_2(X/U)}) + \frac{R - P_m/\pi}{K_2} [1 - e^{-K_2(X/U)}] - \frac{P_m}{2(K_2^2 + \pi^2/P^2)} \left\{ [K_2 \sin \pi \frac{t}{P} - \frac{\pi}{P} \cos \pi \frac{t}{P}] - \left[K_2 \sin \frac{\pi}{P} (t - \frac{X}{U}) - \frac{\pi}{P} \cos \frac{\pi}{P} (t - \frac{X}{U}) \right] e^{-K_2(X/U)} \right\} + \frac{2P_m}{3\pi(K_2^2 + 4\pi^2/P^2)} \dots (2.21)$$

3. 調査對象 및 方法

3.1. 調査對象

洛東江 中流部인 倭館橋에서 慶北 단성군 台岩에 이르는 全長約 61.6km 區間이 本 研究의 調査水域이다. 調査에 必要한 測定地點은 圖 3.1에서 보는 바와 같이 洛東江 本流에서 倭館橋, 강정, 高靈橋, 台岩인 4個地點과 支流인 琴湖江 下流部에 位置한 江倉橋地點으로 都合 5個地點이다. 이들 5個地點을 選定한 것은 倭館橋에서 강정까지의 區間과, 高靈橋에서 台岩까지의 2個河川區間에 對하여 自淨能力을 分析하기 爲한 것이다.

倭館橋과 강정의 21.3km 河川區間에는 直上流에서 龜尾工團의 廢水가 流入되며 大邱의 上水源인 取水場이 강정에 位置해 있고, 高靈교와 台岩의 22.8km 區間에는 大邱市의 都市下水와 工場廢水 등으로 甚히 汚染된 琴湖江이 直上流에서 合流되고 있다. 上氣 2個河川區間內에는 有意할 만한 汚染排出源과 支川의

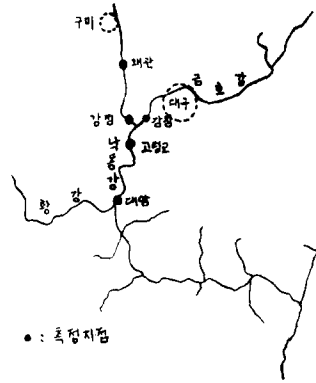


圖 3.1 測定地點

流入이 없고 河川의 形狀이 比較的 一樣한 것으로 볼 수 있다. 따라서 調査對象인 2個河川區間은 洛東江의 水質汚染管理와 用水計劃等 水資源開發을 爲하여 河川의 自淨能力이 評價되어야 할 重要한 水域이다.

調査項目은 流速, 水深, 水面傾斜 및 流量等의 河川 流況에 對한 것과 水溫, DO, BOD, NH_3-N , Chlorophyll a等的 水質에 對한 것으로, 各地點에서 實測하거나 試料을 採取하여 實驗室에서 分析하였다.

測定期間은 水質이 가장 惡化될 것으로 생각되는 여름철中の 渴水期를 可能한 限 擇한 것으로서 1982年 8月 12일부터 同年 9月 24日까지이다.

3.2 調査方法

自淨能力 分析에 利用된 資料는 現地調査와 實測을 通하여 얻은 資料를 基礎로 하여 DO의 發生과 消滅에 關係되는 反應係數를 토대로 河川區間別 自淨關係를 評價하였고, 또한 自淨分析의 結果를 사용하여 既存의 DO模型을 評價하였다.

河川의 流況資料인 流速은 回轉式流速計와 浮子를 가지고 河川斷面을 小區間으로 分割하여 測定한 것이며, 이 測定結果로부터 地點의 平均流速을 求하고 流量을 算出하였다. 河川의 平水量, 低水量, 渴水量 等에 對한 流量規模의 把握은 建設部의 水文統計資料의 統計의 分析으로 이루어진 것이다.

水質項目을 各地點에서 實測하거나 試料을 採取하여 實驗室에서 公害公定試驗法²⁵⁾ 또는 Standard Method²⁶⁾에 依據하여 分析한 것이다. 特히 BOD實驗은 1個의 試料에 對하여 1日 間격으로 連續 10日 동안 實施하였다. 이 實驗結果를 가지고 K_1 을 求한 것이다.

藻類에 依한 酸素의 光合成量과 呼吸量은 Chlorophyll a의 量으로 推定하는 方法과 Dark and Light法²⁶⁾을 利用하여 計算하였다.

〈表 4.1〉 洛東江 中流部の 水質調査 結果(1982)

項目	倭館橋		강정		江倉橋		高靈		台岩	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
測定 月, 日	8.13	9.23	8.13	9.24	8.13	9.24	8.13	9.24	8.13	9.24
流 速 (m/sec)	0.109	0.127	0.121	0.115	0.017	0.138	0.062	0.083	0.072	0.103
流 量 (m ³ /sec)	29.0	32.9	29.3	43.9	12.3	19.9	41.2	66.0	47.0	66.9
날 씨	흐림	맑음	흐림	맑음	흐림	맑음	흐림	맑음	흐림	맑음
氣 溫 (°C)	25.0	26.0	26.5	20.0	28.0	19.8	26.0	22.0	26.0	26.0
水 溫 (°C)	29.0	22.0	27.0	20.0	27.0	20	27.0	21	29.0	23.0
pH	8.1	8.6	8.3	9.3	7.1	8.4	7.1	8.3	7.4	8.2
DO(mg/l)	5.6	8.8	6.3	8.4	0.0	0.0	3.0	2.9	4.4	9.4
BOD ₅ (mg/l)	5.5	7.6	4.0	5.0	68.0	91.0	9.0	25.0	4.2	7.8
NH ₃ -N(mg/l)	0.68	0.53	0.35	0.29	7.50	6.41	3.08	1.45	2.11	1.09

4. 調査結果와 分析

4.1 調査結果

調査期間동안 5 個 測定地點에서 2 회에 걸쳐 測定한 結果를 要約하면 表 4.1과 같다.

어름철 平水量 以下인 流況條件에서 調査된 2 回の 測定結果는 測定回數로 보아 統計的으로 신뢰성이 不足한 點이 있기 때문에 계속적인 調査研究가 必要하다.

河川流量은 平水量과 低水量의 範圍에 있고 날씨는 1 次測定時 흐렸고 2 次測定時에는 맑았다. 水溫은 1 次測定의 경우 大氣溫보다도 1°C 以上 높은 편이고 9 月 下旬에 測定된 2 次測定時에는 20~23°C 程度를 나타내고 있다. DO, BOD₅ 및 NH₃-N의 測定值로 미루어 볼때 琴湖江, 下流部인 강창 地點의 汚染은 深化된 狀態이며 琴湖江 合流點 直下流部인 高靈의 水質汚染도 상당히 높은 것으로 나타나고 있다.

4.2 溶存酸素에 對한 反應係數와 自淨係數

1) 脫酸素 係數(K₁)

單純座標法(Simple Graphic Method)과 一般 實驗室方法(General Laboratory Method)에 依해 5 個測定地點에서 2 회에 걸쳐 採水하여 每回마다 12日間 20°C의 條件에서 實驗室에서 試驗한 BOD值를 가지고 脫酸素係數 K₁을 求한 結果는 表 4.2와 같다. 圖 4.1은 江倉橋地點에 對한 BOD試驗值를 (2.4)式을 適用하여 作成된 直線으로서 그 直線의 기울기와 斜線에서 求한 K₁值가 單純座標法에 依한 K₁值가 되며, 圖 4.2는 倭館橋地點에 對한 BOD의 日別 變化를 半對數紙上에 그린 것으로, 그 直線의 기울기는 一般實驗室方法에 依한 K₁值에 해당된다. t=6日 後에는 直線으로 부터 測定 分析값이 離脫되어 있었기 때문에 圖上에서는 t=6日

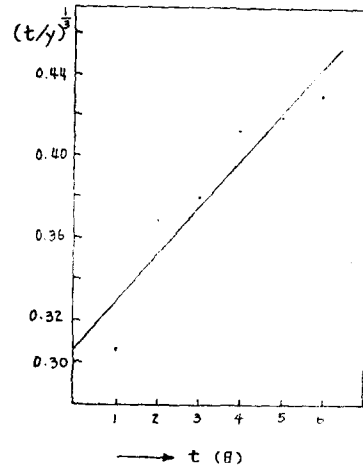


圖 4.1 江倉橋地點의 t對 (t/y)^{1/3} 曲線

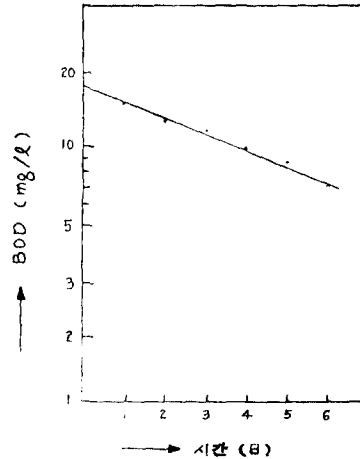


圖 4.2 倭館橋地點에 對한 日別 BOD變化曲線

까지만 t와 BOD의 關係直線을 表示한 것이다. 各測定地點마다 K₁의 값을 求하기 爲하여 圖 4.1과 圖 4.2과

같은 두가지 方式의 座標를 그린 結果, 대략 $t=5$ 日 또는 6日後에는 $(t/y)^{1/3}$ 또는 $\ln BOD$ 가 直線으로 부터 離脫되는 傾向이 있는데 이는 有機物質의 窒化作用에 基因된 것으로 判斷된다. 이와같이 窒化作用이 뚜렷이 發生하는 後日의 BOD값은 K_1 을 求하는데 棄却시켰다. 表 4.2의 K_1 값은 直線回歸式에 依해 算出한 값이며 r 은 回歸直線의 相關係數를 나타내는 것이다.

두가지 方法으로 求한 K_1 값을 比較하여 보면 1次測定時의 高靈橋와 台岩地點에서 單純座標法에 依해 推定된 K_1 값이 多少 異なる 一般實驗室方法에 依해 求한 K_1 값이 全般的으로 큰 傾向을 보이고 있다. 또한 1次와 2次의 K_1 値는 그 變化幅이 一般實驗室方法의 경우에서 보다 적은 것으로 나타나고 있어 單純座標法에 依한 것보다 一般實驗室方法에 依한 것이 安定된 값을 보여주는 것이라 생각할 수 있다. 直線回歸式의 相關係數를 보면 全般的으로 一般實驗室方法의 경우에서 r 이 0.96으로 높은 相關性을 나타내고 있다. 이와같이 두가지 方法을 比較하여 볼 때 本調査地域에서 適合한 K_1 의 算出方法은 一般實驗室 方法인 것으로 判斷된다.

表 4.2 各 地點의 脫酸素係數(K_1) ($20^{\circ}C$)

地 點	測定次	一般實驗室方法		單純座標法	
		K_1	r	K_1	r
倭館橋	1	0.151	0.998	0.143	0.974
	2	0.130	0.991	0.118	0.590
강 정	1	0.283	0.962	0.113	0.817
	2	0.128	0.979	0.065	0.547
江 倉	1	0.410	0.964	0.450	0.939
	2	0.180	0.980	0.077	0.469
高靈橋	1	0.131	0.986	0.298	0.955
	2	0.135	0.958	—	—
台 岩	1	0.164	0.993	0.237	0.924
	2	0.231	0.947	0.059	0.490

r = 相關係數

測定當時의 流量과 表 4.3에 提示된 各調査對象地點의 流量을 比較하면 測定時의 流量規模는 平均低水量과 平均平水量 사이에 있다. 이와같은 流量規模에서 求해진 K_1 의 값은 表 4.2에서와 같이 0.128에서 0.410 (day^{-1})의 範圍를 나타내고 있다. 一般的으로 河川의 K_1 은 流量의 增加에 따라 指數的으로 減少하는 傾向이 있는 것으로 알려져 있으나 本調査의 結果만으로는 그 相關性을 찾기는 어려운 것으로 생각된다.

Robert(1967)²⁹⁾의 報告에 依하면 여름철 渇水期에 Kansan江의 K_1 은 0.1~0.40(day^{-1})의 分布이고, Ron-

表 4.3 測定地點의 流量規模

單位 : CMS

測定地點	渇水量	低水量	平水量
倭館橋	13.18	21.82	45.40
강 정	13.85	22.94	47.74
江倉橋	2.48	4.11	8.56
高靈橋	16.58	27.44	57.11
台 岩	16.91	27.99	58.24

ald(1982)²⁸⁾의 調査에서는 美國全域 258河川의 여름철 渇水期 K_1 은 0.05~0.67(day^{-1})의 分布를 나타내고 있다. 李等(1980)²⁹⁾의 洛東江 水系의 調査에서 K_1 값을 0.1~0.49로 報告하고 있다. 이와같은 K_1 의 範圍는 本調査結果와 큰 差異가 없다.

支川에 所在한 江倉 地點을 除外하면 本流 各地點의 K_1 은 강정에서 2次測定時 0.128이고 1次測定時 0.283으로 最大의 變化를 보여 주고 其他 地點에서는 1次와 2次測定時의 變化幅은 크지 않다. 美國 Kentucky州의 研究結果(1976)²⁹⁾에 따르면 $K_1=0.018 BOD_5$ 의 關係가 있는 것으로 나타났는데 本調査에서 K_1 과 BOD_5 의 關係式은 適合하지 않은 것으로 생각된다. 一定溫度下에서 K_1 은 河川에 含有된 有機物質의 構成成分과 流況等 여러가지 要因에 關係되는 만큼 간단히 K_1 을 推定할 수 있는 關係式을 提示하는는 어려운 點이 많다.

2) 窒酸化率(K_n)

窒酸化率 K_n 은 洛東江本流의 倭館橋와 강정 區間 및 高靈橋와 台岩區間인 2個 區間에서 流下時間을 $N_0 - N$ 의 減少量으로부터 (2.7)式을 適用하여 計算되었는데, 그 結果는 表 4.4와 같다. (2.7)式을 積分하여 整理하면 $K_n = \frac{\ln N_0/N}{t}$ 의 關係를 가진다. 여기에서 N_0 와 N 은 區間の 始點과 終點의 NBOD로 볼 수 있으며, t 는 流下時間이다. 水溫이 $T^{\circ}C$ 와 $20^{\circ}C$ 일 때의 K_n 을 各各 $K_{n,T}$ 과 $K_{n,20}$ 이라고 하면 다음 式과 같은 Van't Hoff-Arrhenius法則으로부터 水溫變化에 따른 K_n 을 求할 수 있다.

$$K_{n,T} = K_{n,20}(1.080^{T-20}) \dots\dots\dots(4.1)$$

이 式은 水溫이 5~30 $^{\circ}C$ 에 適用되는 것이다. 表 4.4의 $K_{n,T}$ 는 測定時의 水溫에 해당하는 것이고 $K_{n,20}$ 은 (4.1)式에 依하여 20 $^{\circ}C$ 의 水溫에 依한 補正值이다.

水溫을 20 $^{\circ}C$ 로 一定하게 보았을 때 1次와 2次測定時의 K_n 은 倭館~강정區間에서 各各 0.167과 0.274 day^{-1} 이고 高靈橋~台岩區間에서 各各 0.050과 0.082 day^{-1} 이었다. 河川의 典型的 窒酸化率은 0.05~0.50

day⁻¹로 알려져 있다. 美國의 Stone river에 對한 窒酸化率은 0.0113~0.46day⁻¹이고³⁰⁾ Holston River의 경우는 0.115day⁻¹로 報告된 바 있다.³¹⁾ 따라서 本調査의 K_n값은 上記 外國例의 範圍에 있음을 알 수 있다.

表 4.4 洛東江 中流部の 窒酸化率(K_n)

項目	區間		區間	
	倭館橋~강정		高靈橋~台岩	
測定次	1	2	1	2
NH ₃ -N減少(mg/l)	0.33	0.25	0.97	0.36
N ₀ /N ⁽¹⁾	1.9429	1.8276	1.4597	1.3303
區間距離(Km)	21.3	21.3	23.8	23.8
平均流速(Km/day)	9.94	10.45	5.79	8.04
平均水溫(T°C)	28.0	21.0	28.0	22.0
K _{n,r} (day ⁻¹) ⁽²⁾	0.310	0.296	0.092	0.096
K _{n,20} (day ⁻¹) ⁽³⁾	0.167	0.274	0.050	0.082

參照: (1) N₀, N; 區間始點과 終點의 NBOD
 (2) K_{n,r}: T°C의 K_n
 (3) K_{n,20}: 20°C의 K_n

倭館橋~강정 區間에서 보다 高靈橋~台岩區間에서 K_n은 낮은 값을 나타내고 있다. 이는 高靈橋~台岩區間에서 相對的으로 DO가 낮고 表 4.5에서와 같이 높은 重金屬濃度³²⁾에 基因된 것으로 본다. DO가 낮으면 窒酸化 박테리아成長이 抑制되고 DO가 0.5mg/l以下로 떨어지면 그 成長이 停止되며, 또한 水中의 重金屬의 毒性으로 窒酸化 成長이 抑制되기 때문이다.

3) 再曝氣 係數(K₂)

再曝氣 係數 K₂의 算出은 式(2.8)부터 式(2.13)까지의 5個公式에 依據 計算하였는데 2個區間の 計算結果는 表 4.6과 같다. 各 區間の 平均流速과 平均水深은 上流地點과 下流地點의 流速과 水深을 各各 平均하여 求한 것이고, 區間の 水面傾斜도 實測한 上下兩地點에 對한 것을 平均한 것이다.

各 公式에 依해서 計算된 K₂의 값은 倭館~강정 區間이 高靈~台岩 區間보다 全體的으로 크다. 이것은 倭館~강정 區間이 流速이 빠르고 水深이 낮다는데 있다. 同一한 區間에서 K₂의 計算値는 公式에 따라 그

表 4.6 各區間の 再曝氣係數(K₂)

項目	區間	倭館~강정		高靈~台岩	
		1次	2次	1次	2次
流量(m ² /sec)		29.0	32.9	41.2	66.0
平均流速(m/sec)		0.115	0.121	0.067	0.093
平均水深(m)		1.20	1.29	3.39	3.69
水面傾斜		1/9,450	1/9,450	1/6,130	1/6,130
K ₂ (day ⁻¹)	O'Connor式	0.879	0.803	0.161	0.167
	Churchill式	2.418	2.251	0.252	0.301
	Isaacs式	1.032	0.975	0.127	0.155
	Owen式	14.720	13.320	1.501	1.598
	Krenkel式	1.989	1.921	1.376	1.339

*20°C인 條件

差가 크다. K₂는 河川의 流量과 水深의 流況 및 水溫 등의 物理的 要因에 큰 영향을 받지만 水質의 汚染程度와 汚染物의 種類에 따라서도 큰 영향을 받는다. 그러므로 K₂의 特定한 算出公式의 適用은 河川 또는 河川區間の 特性에 따라야 한다. 本研究에서 調査 對象 區間の 適用公式의 選擇은 4.4節의 DO模型評價에서 實施되었다. 即 5個公式으로부터 算出된 各 K₂를 DO模型에 適用시켜 計算된 區間の 上下地點의 DO와 實測 DO를 比較檢討하여 計算된 DO와 實測 DO가 가장 잘 一致하는 경우의 公式을 選擇한 것이다. 여기에서 選擇된 公式은 倭館~강정 區間の 경우 Churchill式이며 高靈~台岩 區間の 경우에는 Owen式이다. 이와같은 式으로부터 求한 K₂는 表 4.6에 提示한 바와 같이 1次와 2次測定時 倭館橋~강정 區間에서는 2.418과 2.251day⁻¹이며 高靈橋~台岩에서는 1.501과 1.598 day⁻¹이다.

金等(1973)³²⁾은 洛東江 中流部에서 K₂ 0.05~0.80 day⁻¹로 調査하였고, 李等(1980)³³⁾은 역시 洛東江에서 K₂를 夏期에 1.61~0.414day⁻¹로 報告하였는데 이는 O'conner와 Dobbins公式으로 算出된 것이다. 美國의 河川에 對한 EPA의 調査研究에 依하면 水溫이 5~35°C이고 流量이 0.14~93.46m³/sec이며 BOD₅가 3~30mg/l

表 4.5 洛東江 中流部の 重金屬濃度 單位: μg/l

地點	重金屬					
	水 銀(Hg)	鉛(Pb)	카드뮴(Cd)	크롬(Cr)	銅(Cu)	亞鉛(Zn)
倭 館 橋	N.D	18.1	0.1	1.6	3.4	13.5
강 정	N.D	15.6	0.1	1.1	3.2	26.6
江 倉 橋	N.D	9.7	1.3	14.5	14.9	52.5
高 靈 橋	N.D	9.4	0.4	6.3	3.6	66.5
台 岩	N.D	8.4	0.3	3.6	6.8	190.3

인 경우에 K_2 는 $0\sim 360\text{day}^{-1}$ 의 範圍에 있는 것으로 報告하고 있다. 이와같이 K_2 의 範圍가 큰 것으로 보아 K_2 를 算定하는데는 現地條件에 適用될 수 있는 公式의 사용이 필요하다.

4) 自淨係數(f)

脫酸素係數 K_1 과 再曝氣係數 K_2 의 比로서 求해지는 $f = \frac{K_2}{K_1}$ 값은 Fair值 또는 自淨係數로 불리어진다. 表 4.2의 一般實驗室 方法에서 求한 K_1 值와, 表 4.6의 Churchill式(倭館~강정區間)과 Owens式(高靈~台岩區間)式에서 求한 K_2 를 사용하여 20°C 의 경우에 對한 f 의 값은 表 4.7과 같다. 測定時의 現地 水溫 $T^\circ\text{C}$ 인 경우 f 의 값은 20°C 의 K_1 과 K_2 를 다음과 같은 두가지 式을 사용하여 $T^\circ\text{C}$ 에 對한 K_1 과 K_2 의 算出結果를 가지고 溫度補正한 것이다.³⁹⁾

$$K_1(T^\circ\text{C}) = K_1(20^\circ\text{C}) \times 1.135^{(T-20)} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$K_2(T^\circ\text{C}) = K_2(20^\circ\text{C}) \times 1.024^{(T-20)} \dots\dots\dots(4.3)$$

本調査에서 倭館~강정 區間의 f 값은 20°C 에서 16.0과 17.3으로 高靈~台岩의 경우인 11.5와 11.8보다 큰데 이는 豫想한 바와 같다. 下流部인 倭館~강정 區間이 보다 汚染되었고, 流速等이 완만하기 때문이다. 式(4.2)과 式(4.3)을 利用하여 測定時의 溫度補正으로 計算된 f 의 값은 20°C 보다 測定時의 水溫이 높기 때문에 적은 것으로 나타났다. Fair에 依하면 水溫이 1°C 增加에 따라 f 值는 3%程度 減少하는 것으로 報告되고 있다. 그러나 本 調査에서는 Fair의 報告보다 더욱 높은 減少率을 나타내고 있다.

李等(1979)⁸⁾은 洛東江本流에서 f 의 값이 4월에 9.9, 10월에 2.9로 調査되어 本 調査의 경우보다 낮은 값을 보여주고 있다. 美國河川의 調査에서 Grand江의 f 值는 6.9, Truckee江에서 14程度로 發表되고 있다. 그런데 河川狀態에 따른 Fair의 自淨係數 基準值는 流速이 낮은 大河川에서 1.5~2.0, 보통 유속의 大河川에서 2.0~3.0, 流速이 급한 河川에서 3.0~5.0으로 提示하고 있다. 이와같은 Fair의 基準值는 本 調査의 f 值보다는 물론 上記한 他調査의 경우보다 훨씬 적은 편이다. 따라서 自淨係數 f 值는 從來 Fair의 基準值에서 벗어나는 경우가 많은 것으로 생각된다.

本 調査의 1次測定은 夏期로 이때 水溫은 2個 區間에서 28°C 이다. 이 경우 f 값은 7.0과 5.0으로 20°C 인 경우보다 半以下로 減少되었다. 따라서 水溫이 높은 夏節期의 自淨能力은 크게 줄어드는 것으로 나타나고 있다.

4.3 藻類의 光合成과 呼吸

河川에 서식하는 藻類의 光合成과 呼吸量의 算定은 Chlorophyll-a의 濃度의 測定值과 Dark and Light法에

表 4.7 區間別 自淨係數(f)

區 間 測 定	倭館橋~강정		高靈橋~台岩	
	1次	2次	1次	2次
水溫($T^\circ\text{C}$)	28	21	28	22
f	20°C	16.0	17.3	11.5
	$T^\circ\text{C}$	7.0	15.6	5.0
				9.6

依한 測定值를 가지고 推定한 것인데 그 結果는 다음 表 4.8과 같다.

表 4.8에서 藻類의 乾燥重量은 Standard Method (1981)²⁶⁾에서 獨立指數(AI)를 67로 選定하고 Chlorophyll-a의 含量이 藻類의 乾燥重量의 1.5%로 看做하여 計算된 것이다. 藻類의 總光合成量(P_g)은 1日동안 乾燥重量 1g量에 해당하는 藻類가 水中에 1.6g의 酸素를 供給한다는 Oswald와 Gotaas (1956)³⁹⁾의 提案에 依據計算하였다. 또한 藻類의 呼吸에 依한 水中의 酸素消耗量 R 은 P_g 의 2/3로 推定한 것이다.

Chlorophyll-a量으로 부터 推定된 P_g 와 Dark and Light法을 利用하여 測定된 P_g 는 큰 差를 나타내고 있다. 1次 測定時에는 Chlorophyll-a로 부터 推定된 P_g 가 5個地點에서 $2.8\sim 6.9\text{mg}^{O_2}/\text{l}/\text{day}$ 로 Dark and Light法에 依한 것보다 보다 많으나 2次 測定時에는 적은 값으로 推定되고 있다. 두 方法 모두 P_g 는 日照量과 水溫의 影響이 크다는 共通點이 있다. Dark and Light法으로 測定되는 P_g 와 R 은 試驗中 試料의 보관 位置와 試料병 內에서의 phytoplankton의 過大한 增殖等 여러가지 要因에 依해서 DO 濃度의 測定值의 正確性에 限界가 있다.

Chlorophyll-a의 量은 下流部로 내려갈수록 더욱 增加傾向을 보이고 있으며 琴湖江 下流部인 강창에서 比較的 높게 나타나고 있다. 藻類의 營養物質인 窒素物質의 증가에 基因된 것으로 본다. 海洋開發研究所(1978)가 調査한 鎮海灣全體의 Chlorophyll-a의 表層平均値는 $17\text{mg}/\text{m}^3$ 이었고 赤潮現象으로 크게 問題視되고 있는 馬山灣의 平均値는 $56\text{mg}/\text{m}^3$ 이었다. 이와 比較할때 本 調査地點의 Chlorophyll-a의 量은 상당히 높은 것이다.

高靈橋地點에서 時間別로 DO와 水溫을 測定한 結果는 圖 4.3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 DO는 午前 8時부터 계속 增加하여 午後 6時頃에 最高를 나타내고 있는데 이때의 DO濃度는 過飽和狀態이다. 午後 6時以後는 DO가 점차 減少하여 새벽 6時 頃에 最下가 된다. 같은 環境條件에서 DO는 水溫에 逆相關關係가 있으나 本 調査河川의 경우는 水溫의 增加에 따라 DO가 增加한다. 이와같은 DO와 水溫의 變化를 생각할때 本

表 4.8 各地點에 對한 藻類의 總光合成量(P_g)과 呼吸量(R)

項目	測定	地 點									
		倭 館		강 정		강 창		高 靈 橋		台 岩	
		1次	2次	1次	2次	1次	2次	1次	2次	1次	2次
Chlorophyll-a	(mg/l)	32.7	6.2	26.4	11.6	36.5	23.9	39.7	18.1	64.8	34.0
Dry Algae	(mg/m ³)	2,190	420	1,770	780	2,450	1,600	2,660	1,210	4,340	2,280
P_g	*	3.5	0.7	2.8	1.2	3.9	2.6	4.3	1.9	6.9	3.6
	**	0.8	2.6	0.8	5.8	—	—	0.0	4.2	0.0	7.4
R	*	2.3	0.4	1.9	0.8	2.6	1.7	2.8	1.3	4.6	2.4
	**	0.4	0.8	0.2	4.0	—	—	2.4	4.6	1.6	2.8

* : Chlorophyll-a로 부터 推定
 ** : Dark and Light法

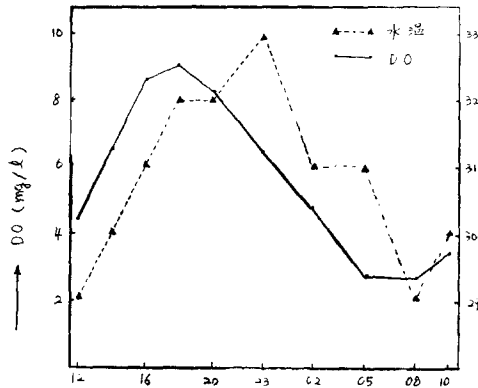


圖 4.3 高靈橋의 DO 및 水溫의 時間別變化 (1982. 8. 7~8. 8)

調査河川의 DO는 藻類의 影響을 크게 받는 것으로 생각되며 또한 富營養化의 憂慮가 있음을 나타내는 것이다.

4.4. DO模型 評價

評價되는 模型의 對象은 前述한 式(2.21)이다. 藻類의 DO變動에 對한 影響은 測定時 以前의 날씨 測定時間, 水溫等 여러가지 要因에 依해서 달라지고 本調査河川의 藻類의 번식이 커 富營養化가 우려되는 狀況이므로 더 한층 DO의 舊變動이 甚하여 藻類의 光合成과 呼吸에 依한 事項은 排除하고 DO模型을 評價하였다.

DO模型인 (2.21) 式에 對한 2個 河川區間의 入力值과, 두 區間의 上流點인 강정 및 台岩地點에서의 DO 實測值과 DO模型을 利用한 計算值의 結果는, 各各表 4.9와 表 4.10에 提示되어 있다. 表 4.9에서 流量, DO, L_0 및 N_0 는 調査區間의 上流點인 倭館과 강정의 實測流量이고 流速과 水溫은 區間上下流點의 平均値이며, K_1 과 K_n 은 實測水溫에 對하여 (4.2)式과 (4.1)式

表 4.9 區間別 DO模型의 入力值

區 間	倭館橋~강정		高靈橋~台岩	
	1次	2次	1次	2次
流速(km/day)	9.94	10.45	5.79	8.04
水溫(°C)	28.0	21.0	28.0	22.0
初期DO(mg/l)	5.6	8.8	3.0	2.9
L_0 (mg/l)	17.2	15.9	20.8	50.9
N_0 (mg/l)	3.0	2.4	13.8	6.5
K_1 (day ⁻¹)	0.416	0.148	0.361	0.174
K_n (day ⁻¹)	0.310	0.296	0.092	0.096

으로 溫度補正을 시킨 置換값이다. 表 4.10의 DO計算過程에서 K_2 는 O'Connor式等 5個公式으로부터 算出된 結果(表 4.6 參照)를 (4.3)式으로 溫度補正한 後 이를 表 4.9의 入力資料와 함께 DO模型에 代入하여 DO를 求한 것이다.

1) K_2 算定公式의 選定

두 區間의 終點인 강정과 台岩에서 DO의 實測值과 計算值를 比較하여 볼때 倭館橋과 강정 區間에서는 Churchill과 Owens式으로부터 求한 K_2 의 適用時 比較的 近似한 값에 接近하였고 高靈橋와 台岩區間에서는 Owens式의 경우가 近似한 값에 接近하였다. 1次測定當時 날씨는 매우 흐렸고 2次測定當時의 날씨는 맑았다. 따라서 DO의 時間的 變動에 큰 影響을 끼치는 藻類의 光合成과 呼吸量은 1次測定時보다 2次測定時가 旺盛했을 것으로 判斷된다. Dark and Light法으로 測定된 表 4.8의 結果에서도 1次測定時 P_g 와 R 이 적은 값으로 나타난 것은 민감한 날씨의 影響은 反映하는 것이다. 2次測定時 台岩地點에서 DO의 實測值은 9.4 mg/l인데 反해 Owens式으로부터 求한 K_2 의 適用 經

表 4.10 강정 및 台岩地點의 DO實測値와 計算値

單位 : mg/l

項目	測定地點		강 정		台 岩	
	1次	2次	1次	2次	1次	2次
測定値	6.4	8.4	4.4	9.4		
計 算 值	K ₂ · D' Connor Churchill Isaacs Owen Krenkel 算出 公式	3.6	6.4	0.0	0.0	
		6.4	7.8	0.0	0.0	
		4.2	6.7	0.0	0.0	
		7.5	8.7	4.4	4.8	
		6.0	7.7	4.0	4.1	

우 DO의 計算値는 4.8mg/l로 큰 差를 나타내고 있는 것도 날씨即 日照量을 考慮하지 않은 것이기 때문이다. 또한 DO의 計算에서 藻類의 光合成과 呼吸을 排除하였기 때문에 날씨가 흐려 藻類의 影響이 적은 1次時의 測定値와 計算値를 比較하는 것이 妥當한 것으로 본다. 그러므로 本 調査의 2個 河川區間에서는 DO의 實測値와 計算値가 가장 接近한 K₂의 算定公式를 適用토록 하는 것이 바람직 한 것으로 본다. 따라서 倭館과 강정 區間에서는 式 Churchill이 高靈과 台岩區間에서는 Owens式이 K₂를 求하는데 適合한 式으로 判斷된다.

2) 各區間の 距離別 DO變化

倭館과 강정 區間 및 高靈과 台岩區間에서 1次測定時에 해당하는 表 4.9의 入力資料와 Churchill式 및 Owens式으로부터 算出된 K₂를 利用하여, P_g와 R을 排除한 DO模型인 (2.20)式으로부터 測定된 距離別 DO의 變化曲線은 圖 4.3와 圖 4.4와 같다.

倭館과 강정 區間에서는 圖 4.3에서 보는 바와 같이 始點인 倭館으로부터 下流 約 4km地點까지 DO가 서서히 減少한 後 다시 完滿히 增加하고 있어 比較的 DO의 變化中은 크지않다. DO의 極限點을 나타내는 4km地點의 DO는 5.4mg/l으로 始點인 倭館의 5.6mg/l보다 0.2mg/l적은 것이다. 反面 高靈橋와 台岩區間에서는 始點인 高靈橋로부터 下流 約 4km地點에서 8km에 地

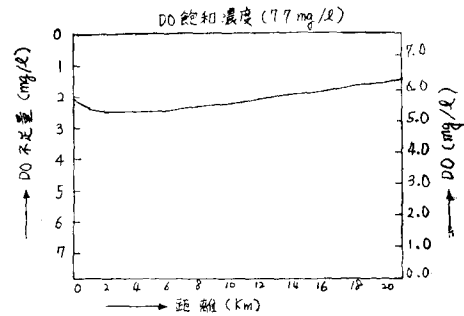


圖 4.4 倭館 강정區間的 DO變化曲線

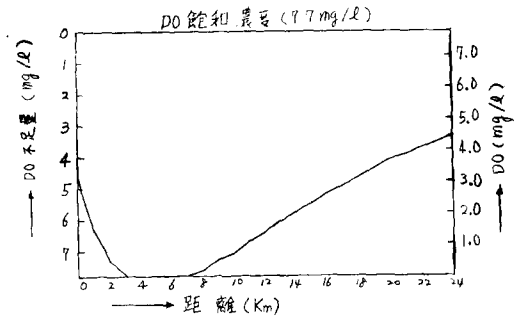


圖 4.5 高靈 대암區間的 DO變化曲線

點까지 DO가 0狀態로 있다가 比較的 빠른 速度로 增加되고 있다. 이와같은 두 區間的 變化의 DO樣相은 前述한 바와같이 倭館과 강정 區間에서 自淨率이 보다 높다는 點과 大邱의 都市 및 工場廢水로 因한 高靈과 台岩區間的 汚染이 深化된데 基因된 것으로 본다. 특히 琴湖江合流點으로부터 高靈橋 下流22km地點의 洛東江本流區間은 DO가 存在하지 않거나 4.0mg/l 以下로 推定되고 있어 水質管理上 問題視되는 區間으로 본다.

3) DO模型의 因子別 感應程度(sensitivity) DO模型인 (2.21)式의 構成因子中 本 調査研究의 DO計算에서 排除시킨 P_g와 R을 除外하고 K₁, K₂, K_n, L₀, N₀의 값이 DO의 計算結果에 어느 程度 影響을 미치는가를 檢討하기 爲하여 各 因子別 感應程度(sensitivity)를 評價하였다. 評價하는 方法은 上記 5個 因子中에서 한 가지 因子씩만을 50%增加시키거나 減少시켜 DO模型에 適用시키고 DO를 計算하여 DO變動을 比較檢討하

表 4.11 各係數의 增減別 DO의 變化

(單位 : mg/l)

區 間	距離 (km)	DO模型의 原計算值	K ₂		K ₁		L ₀		K _n		N ₀	
			50%增	50%減	50%增	50%減	50%增	50%減	50%增	50%減	50%增	50%減
倭館~강정	10	5.64	6.37	3.90	5.12	6.37	4.78	6.51	5.56	5.75	5.52	5.76
	20	6.36	6.86	4.71	6.29	6.69	5.77	6.94	6.33	6.42	6.26	6.45
高靈~대암	10	0.79	3.23	0	0	3.11	0	3.89	0.54	1.07	0.49	1.09
	25	4.61	5.78	0.30	5.18	4.69	3.30	5.92	4.48	4.81	4.36	4.86

※ 始點으로부터의 距離

는 것인데 本調査區間에 對한 1次 測定時의 條件에 依 當하는 計算結果는 表 4.11과 같고, 그림으로 나타낸 것은 圖 4.5와 圖 4.6과 같다.

倭館과 강정 區間에서 區間始點인 倭館으로 부터 下 流 10km地點에서 K_2 를 50%增加시키므로서 DO의 값은 5.64에서 6.37mg/l로 約 13% 增加하였으며 50% 減少시키므로서 DO의 값은 3.90mg/l로 約 31% 減少 하였다. 이와같은 DO에 對한 感應率은 L_0 의 경우에서 도 84%와 115%로 減少하고 增加하였고, K_1 의 경우도 比較的 높은 增減상태를 나타내고 있다. 倭館下流 21 km地點에서도 같은 樣相의 感應狀態를 나타내고 있는 데 10km地點에서 보다는 적은 感應率을 보이고 있다 이는 流下距離에 對한 DO의 變化가 완만한 경우에서 나타나고 있다.

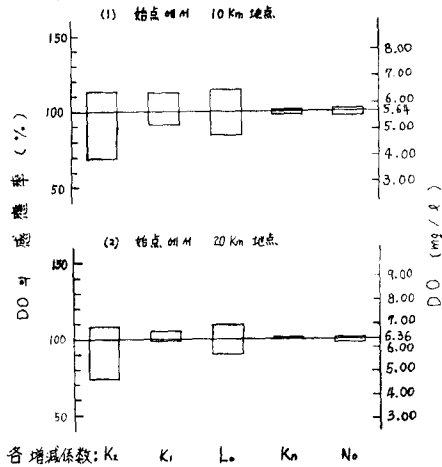


圖 4.6 왜관 강정區間의 因子別 DO感應率(%)

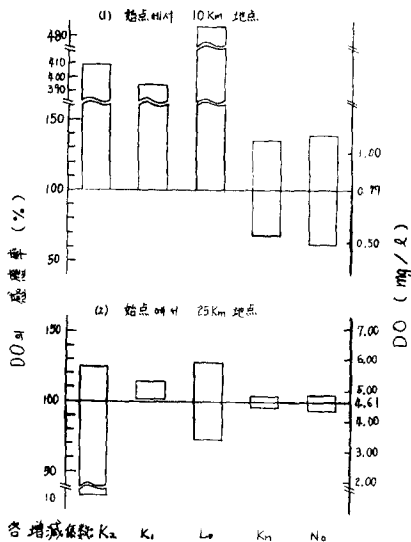


圖 4.7 고령~대암 區間의 因子別 DO感應率(%)

汚染이 甚하고 DO가 낮은 高靈橋와 台岩區間에서는 圖 4.6에 그려진 바와 같이 倭館과 강정 區間에서보다 훨씬 높은 DO에 對한 各 因子의 感應狀態를 나타내고 있다. 高靈 下流 10km地點의 感應率이 25km地點보다 높은 것은 倭館과 강정 區間의 경우와 같은 경우로 볼 수 있는 것이다.

以上과 같은 感應程度를 比較檢討하여 本예 全般 的으로, DO에 對한 各 因子의 減應程度는 K_2, L_0, K_1, N_0, K_2 順이며, DO가 적거나 汚染이 심할수록 各 因子의 減應程度는 커지는 경향이 있다. 이와같은 點에 미루어 DO模型을 適用하는데는 適切하게 因子의 값을 特히, 減應度가 높은 K_2, L_0, K_1 의 값을 正確히 測定分析 하는 것이 무엇보다도 重要한 것임을 알 수 있다.

結 論

洛東江 中流部에 해당되는 倭館橋에서 高靈橋下流에 位置한 台岩地點까지의 本流區間과 琴湖江下流部에 있는 江倉地點에서, 1982年 8月과 9月동안 2회에 걸쳐 流量, 流速等 河川의 流況과 水質을 同時에 測定한 結果를 가지고 本 研究를 實施하였다.

本研究는 DO變化에 影響을 미치는 有機物質의 酸化作用과 河川의 再曝氣係數 및 藻類의 光合成等을 分析하여 自淨關係를 규명하고, 河川 區間別 DO模型을 評價하는데 目的을 두고 있는데 그 重要成果는 다음과 같다.

1) 調査河川區間에서 BOD의 時間別變化를 分析한 結果 窒化作用이 뚜렷이 發生되는 時日은 5日 또는 6日로 나타나고 있다.

2) 平水量 以下에서 脫酸素係數 K_1 (base e)는 洛東江 本流인 경우 0.128~0.231day⁻¹로 調査되었고 琴湖江 下流部의 江倉橋 地點에서는 0.180~0.410day⁻¹로 調査되었다.

3) 窒酸化率 K_n (base, e)은 20°C條件에서 0.05~0.274 day⁻¹로 調査되었는데, 上流部인 倭館橋~강정 區間에서 보다 下流部인 高靈橋~台岩區間에서 K_n 값은 낮게 나타나고 있다. 이는 高靈橋~台岩區間에서 相對 的으로 DO가 낮고 重金屬濃度가 높은 것에 基因된 것으로 본다.

4) 再曝氣 係數 K_2 (base, e)는 倭館橋~강정 區間에서 2.4~2.5day⁻¹이고 高靈橋~台岩區間에서 1.5~1.6 day⁻¹ 程度로 上流部의 K_2 가 높다.

5) 20°C를 基準한 自淨係數는 倭館橋~강정 區間에서 16~17程度이고 高靈橋~台岩區間에서 11~12程度로서 上流部인 倭館橋~강정 區間에서 더 높은 自淨率을 보여주고 있는. 測定當時의 水溫인 28°C인 경우 上

記 두개區間의 f 는 各各 7.0과 5.0로 半減되고 있으나 一般河川에 對한 Fair f 值보다는 큰것으로 調査되었다.

6) 調査된 河川水에는 藻類의 번식이 왕성하고 이로 因해 琴湖江 合流點 下流의 洛東江 本流는 富營養化가 憂慮되고 낮동안의 DO는 過泡和狀態에 達하는 경우도 있다.

7) DO模型으로 推定한 距離別 DO變化는 倭館橋~ 강정 區間보다 高靈橋~ 宕岩區間에서 크다. 特히 高靈橋 下流 約 4km地點에서 8km地點까지 DO는 存在하지 않다고 比較的 빠른 速度로 增加하고 있다.

8) 藻類의 光合成과 呼吸을 除外하고 DO模型을 分析한 結果, DO變化에 큰 影響을 미치는 因子의 順位는 再曝氣係數 K_2 , 初期 1 단계 BOD인 L_0 , 脫酸素係數 K_2 인 것으로 評價된다.

本 研究를 爲하여 財政의으로 補助하여준 美國의 Chinamedical Board에 感謝드리고, 또한 國立環境研究所의 全的인 志願으로 本人의 責任下에 實施된 全國 主要河川 基礎 調査(第 2 次年度)에서 많은 部分의 資料가 活用되었기에 國立環境研究所에 謝意를 表합니다.

參 考 文 獻

- 1) Streeter, H.W., and Phelps, E.B. *A Study of the Pollution and Natual Pur fication of the Ohio River*, Public Health Bulletin, No.146, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Washington, D.C., 1925.
- 2) Vladimir Novotny and Peter A. Krenkel, *A Waste Assimilative Capacity Model for Shallow, Turbulent Stream*, Water Research Vol. 9, pp.233~241, 1975.
- 3) P.R. Holes, *The Mathematical Modeling of water Quality with Pary with Particular Reference to Industrial Rivers of Yorkshire*, WPCF
- 4) Richard J. Ruane, Peter A. Krenkel, *Nitrification and other Factors Affecting Nitrogen in the Holson River*, JWPCF, Aug., 1978.
- 5) Donald J. O'connor and Dominic M. Di Toro, *Photosynthesis and Oxygen Balance in Streams*, ASCE, Vol. 96, No.SA2, 1970.
- 6) 咸能洙, 琴湖江의 自淨能力에 關한 研究, 嶺南大學 論文集 pp.95~103, 1973.
- 7) 金永煥, 李弘根, “炭川의 汚染物質量과 自淨作用에 對한 調査研究” 公衆保健雜誌, 第11卷第2號, pp.290~296, 1974.
- 8) 李瑞來, 崔彥浩, 宋基俊, 梁在昇, 宋賢順, 盧在植, “洛東江 水系的 水質保全을 爲한 調査研究” 環境保全 協會誌, 1(1) pp.57~66, pp.71~84, 1980.
- 9) 李弘根 外, “全國主要河川 基礎調査 第 2 次年度”, 서울大學校, 保健大學院 單行本, pp.808~918, 1982.
- 10) 韓國科學 技術 研究所 附設 海洋開發研究所, 漢江 및 洛東江의 基礎水質, 水量 및 流域別 汚染源에 關한 調査研究”, 單行本, 1978.
- 11) 洪淳佑, 河永七, 李健模, “漢江의 自淨能에 對하여”, 韓國陸水學會誌, 12(3~4), pp.9~18, 1979.
- 12) Theriault, E.J., *The Oxygen Demand of Polluted Wastes*, Washington D.C., Public Bulletin 173, 1927.
- 13) Thomas, H.A., *The Slope Method of Evaluation to Constants of the First Stage* 1,300 Curve, Sewage Works Journal, 9(3), p.425, 1937.
- 14) More, E.W., et al, *Simplified Method for the Analysis BOD Data*, and Industrial
- 15) Orford, H.E., and W.T. Ingram, *Sewage and Industrial Wastes*, 25(4) p.424, 1953, *Sewage and Industrial wastes*, 25(5), p.566, 1953.
- 16) Gaudy, A.F., et al, *Methods for Evaluating the First order Constants K. and L for BOD Exertion*, M-1 Center for Water Research in Engineering Oklahoma State Univ., Stillwater Oklahoma, May, 1967.
- 17) Thomas, H.A., *Graphical Determination of BOD Curve Constants*, Water and Sewage Works, Vol. 97, 1950.
- 18) Gamson, A.L.H., *Some Aspects of the Carbon, Nitrogen, and Sulphur Cycles in the Thames Estuary, Influence on the Oxygen Balance*, Symp. Inst. Biol., London, G.B., 1959.
- 19) O'Connor, D.J. and Dobbins, W.E., *The Mechanism of Reaeration in Natural Streams*, Transactions, ASCE, Vol. 123 Paper No.2934, pp.641~684, 1958.
- 20) Edward L. Thackston and Peter A. Krenkel, *Reaeration Prediction in Natural Streams*,

- Feb., SA1, 1969.
- 21) M.A. Churchill, et al., *The Prediction of Stream Reaeration Rates*, ASCE, July, SA. 4, 1962.
 - 22) W.P. Issacs, et al., *Atmospheric Oxygenation in a Simulated Stream*, ASCE, Vol. 94, No.S A2, 1968.
 - 23) Owens, H., et al., *Some Reaeration Studies in Streams*, Inter. J. Air and Water Pollution 8, 1964.
 - 24) O'connor, D.J., et al. *Notes on Stream and Estuarine Analsis*, Manhattan College summer Institute in Water Pollution Control, New York, May 1971.
 - 25) 環境廳, “公害公定試驗法”, 1981.
 - 26) APHA-AWWA-WPCF, *Standard Mehod for the Examination of Water andt Waste Water*, 15th ed., 1981.
 - 27) Robert L. Smith, et al., *Development and Evaluation of a Matheutical Model of the Lower Reaches of the Kansas River Drainage System*, EPA, 1967.
 - 28) Ronald A. Chadderton, et al., *Uncertainty Analysis of Disolved Oxygen Model*, ASCE, Oct., ZE 5,
 - 29) U.S. Geological Survey, *Water Resources Data for Kentucky water Year 1975*, Wates Data Report KY-75-2, Louisville, Kentucky, 1976.
 - 30) Courchaine, R.J., *Significance of Nitrification in Stream Analysis-Eflect on Oxygen Balance*, JWPCF., 40, p.835, 1968.
 - 31) Rune, R.J. and P.A. Krenkel, *Nitrification and Other Factors Affecting Nitrogen in the Holston River*, JWPCF, Aug., 1978.
 - 32) 金熙鍾, 閔丙亨, 吳英敏, “河川の自淨作用に關한 研究(洛東江을 中心으로)”, 東亞大學 論文集, 1973.
 - 33) Churchill, M.A., H.L. Elmore, and R.A. Euc ktingham, *The Prediction of Stream Reaeration Rate*, J. San. Eng. Div. (ASCE), SA4, July 1962.
 - 34) Oswald, W.A. and H.B. Gotas, *Ind. Eng. Chem.*, 489, 1457 1956.