

5大江의 水質管理를 爲한 基礎調査研究

서울大學校 保健大學院 李 弘 根

慶熙大學校 土木學科 李 種 南

要約 및 結論

主要河川인 洛東江, 錦江, 榮山江, 蟾津江 및 葛項江의 5大江 流域에 對한 本 調査 研究의 主要目的은 河川의 流域特性과 水質狀態, 河川의 自淨能力評價와 DO 模型의 設定, 河川의 流量規模와 汚染負荷量別 水質變化의 推定 및 河川區間別 許容流出 汚染負荷量이 提示等이다.

本 調査는 全國 主要河川 流域 基礎調査의 第2次年度에 對한 것이니, 調査研究期間은 1982年 7月 1日부터 同年 12月 20日까지로 이 期間 동안에 實施된 調査研究의 重要成果는 다음과 같다.

1. 5大江 流域의 現況

1) 5大江 河川の 流域概況은 다음과 같다.

河川名	流域面積 (km ²)	流路延長 (km)	年平均降 雨量(mm)	總降水容 量(10 ³ m ³)	總人口 (10 ³ 人)	給水人口 (10 ³ 人)	年平均洪水被 害額(10 ⁶ 圓)
洛東江	23,859.80	525.75	1,079.0	255	11,190	6,225	10,534
錦江	9,835.80	401.40	1,159.0	115	3,481	1,524	11,691
榮山江	2,861.00	122.00	1,286.0	36	1,744	901	3,691
蟾津江	4,896.60	225.30	1,344.2	66	858	56	2,475
萬頃江	1,601.70	93.50	1,298.5	21	853	-	1,020

2) 洛東江의 支流인 琴湖江 流域의 人口는 全 洛東江 流域 人口의 約 33%에 해당하는 2,003,000 余名이 集中되어 있으며, 本 支流域內에 鎭業 및 製造業所가 2,867 個所로 全 洛東江 流域의 44%에 해당된다. 따라서 琴湖江 流域은 洛東江, 流域中에서 가장 큰 点汚染物 質의 發生地域이다.

3) 錦江에서 가장 많은 畝의 点汚染源이 包含된 支川流域은 甲川 流域이며, 榮山江의 경우는 光州川 流域이고, 蟾津江의 경우는 보성강 流域이고 萬頃江의 경우는 全州川 流域이다.

2. 理化學的 汚染度調査

調査期間동안 5회에 걸쳐 實測한 95 個地点의 河川水에 對한 20 種의 水質項目 및 7 個地点의 河川에 對한 27 種의 底質項目의 理化

의 分析과, '77年부터 '81年에 까지의 水質測定值의 資料分析을 通하여 얻어진 重要한 結果는 다음과 같다.

1) 洛東江의 支流인 琴湖江, 錦江의 支流인 甲川, 榮山江의 支流인 光州川 및 萬頃江의 支流인 全州川의 下流部는 大都市인 大邱, 大田, 光州, 全州市의 都市下水와 工場廢水로 因하여 甚한 汚染狀態를 나타내고 있다.

2) 5大江 本流의 水質을 理化學的인 面에서 檢討할 때 全般的으로 萬頃江과 榮山江의 경우가 가장 惡化된 水質狀態를 보이고 있다. 이는 排出汚染量에 比해 河川의 環境容量이 不足한 것에 歸因한 것으로 본다.

3) 洛東江 本流에서 水質이 不良한 區間은 琴湖江 合流點 直下流部의 區間과 사상 團地의 廢水가 流入되는 下流部로 高靈(N-15)과 兪中(N-35)의 BOD는 5回平均 $9.7\text{mg}/\ell$ 과 $72.4\text{mg}/\ell$ 이다.

4) 塘津江 本流는 5大江 中에서 가장 良好한 水質을 보이고 있는데 求禮(S-10) 地點을 除外하고는 全區間에 걸쳐 5回 平均 BOD 濃度는 $1.0 \sim 1.5\text{mg}/\ell$ 의 範圍에 있다.

5) 5大江의 本流의 河川水에서는 重金屬濃度가 環境保全法 規定인 國庫基準을 超過되는 경우는 없었으나 支流의 경우에서는 超過되는 地點이 많았다.

洛東江의 龜尾工團(N-10) 地點, 錦江 美湖川의 濟州工團(G-13) 地點, 榮山江 光州川의 內방동(Y-3), 萬頃江의 鎭星工團(M-9) 地點에서 5回 平均 總크롬이 各各 $0.200\text{mg}/\ell$, $0.476\text{mg}/\ell$, $0.192\text{mg}/\ell$, $1.395\text{mg}/\ell$ 가 檢出되었고, 錦江의 支流인 大田川의 현암橋(G-5)와 甲川(G-9) 地點 및 美湖川(G-15) 地點에서는 水銀濃度가 5回 平均 $0.0037\text{mg}/\ell$ 에서 $0.0605\text{mg}/\ell$ 의 範圍로 나타났다. 이와같은 濃度는 環境保全法上 사람의 健康保護基準을 超過하는 것이다. 重金屬의 檢出地點은 모두 支流로서 工團廢水가 流入되는 地點

이다.

5) 營養指標의 測定結果, 5 大江, 流域에 걸쳐 營養化의 可能性이 存在하며, 特別 都市下水의 流入으로 水質이 惡化된 區間과 農業排水의 流入區間에서, TSS와 PO_4-P 의 濃度가 높게 나타나고 있다.

7) 洛東江 本流인 清津(圖-14)와 仙岩의 TSS와 PO_4-P 의 濃度는 各處 $1.176 \text{ mg/l} \sim 10.633 \text{ mg/l}$ 와 $0.137 \text{ mg/l} \sim 1.342 \text{ mg/l}$ 의 範圍에 있다. 上記地點은 大邱의 都市下水가 流入되는 下流에 位置해 있다. 都市下水가 流入되는 節江의 甲川과 葵湖川, 榮山江의 光州川, 萬頃江의 金州川의 下流部에서 是의 TSS와 PO_4-P 의 濃度가 높게 檢出되었다.

8) 鎭津江의 上流(圖-6)과 所月里(圖-8) 區間에서 TSS와 PO_4-P 의 濃度가 높게 檢出되고 있는데 이것은 農業排水의 影響에 起因된 것으로 본다.

9) 自動 水質測定機의 水質資料를 分析한 結果, 洛東江 本流의 龜尾와 大邱에서 日間 DO의 最大發生時間은 午前 8時과 3時 사이였는데 이는 都市下水와 工場廢水의 排出時間의 影響과 藻類의 影響이 큰 것으로 본다.

10) 日別 水溫의 變動을 分析한 結果, 洛東江 本流의 水溫이 가장 낮은 時期인 7, 8, 9月의 3個月間 日別 水溫의 平均値를 $22.1 \sim 29.0^\circ\text{C}$ 의 範圍에 있었다. 이와 같은 現象은 日別 水溫의 生活週期를 反映하는 것으로 생각된다.

11) 月別 BOD의 뚜렷한 變動은 없으나 8月以後 다소 減少하는 傾向이 있다.

12) 5 箇年('77年~'81年)의 年別別 水質變動을 보면 '78年以後 DO와 BOD로 본 水質은 多少 良好한 것으로 나타나고 있다. 이는 環境基準의 強化措施에 依한 것으로 생각된다.

3. 生物學的 汚染度 調査

生物學的 汚染度에 對한 本 調査는 5 회에 걸쳐, 95 個 地点의 河川水에서 細菌과 藻類를, 29 個 地点에서 藻類와 水棲곤충을 調査하여 5 大江 河川에 對한 水質을 評價하였다. 그 重要結果는 다음과 같다.

1) 大腸菌數에 依한 各 江의 水質을 보면 洛東江, 錦江, 및 滄津江은 上水源水 2 級에 해당하고 榮山江은 3 級에 해당하지만 葛項江은 約 10.5 MPN/ml 程度로 다른 河川보다 훨씬 汚染度가 높았다.

2) 植物性 플랑크톤의 現存量과 優占種에 依한 各 江의 水質은 洪水期와 兩期에 따라 크게 變化하고 있고, 特別히 工團의 影響이 뚜렷하게 나타나며 各 地点을 綜合하여 보면 滄津江이 比較的 良好하고 葛項江이 가장 惡化되어 있다.

3) 無脊椎動物의 群集構造에 依한 各 江의 水質은 植物性 플랑크톤의 경우와 같이 滄津江이 가장 良好하고 葛項江이 가장 惡化된 狀에 있다.

4. 河川의 流量測定 및 水文調査

河川의 自淨評價對象과 同一한 地点인 27 個 地点에서 實測된 水文資料와 關聯既存資料를 分析하여 얻은 結論은 다음과 같다.

1) 本 課業인 5 大江 流域內 水位流量 觀測所는 1980 年 現在 95 個所가 있으며, 1916 年 以後로부터 現在까지 계속 水位를 觀測하고 있다.

그러나 測量測定은 極히 적은 一部(10 個所 以內)에서 하였으며, 이것도 1916 ~ 1927, 1963 ~ 1968, 1975 ~ 現在 까지의 時期만이 部分的으로 測定하였다.

本 課業의 一環으로 27 個所의 調査地点을 選定하여 3 回の 水位

流量測定을 하였는데 本 調査期間 동안 測定된 流量은 渴水時와 平水時에 해당되는 流量이다.

2) 流量測定資料가 極히 적어서 正確性和 精度가 높은 河川流量分析은 期待하기 어려우며, 더욱이 渴水期의 渴水量 測定資料는 거의 없어, 高水位의 水位流量 曲線延長에서 渴水量을 求하면 그 誤差는 더욱 클 것이다.

3) 우리나라 河川의 河狀係數가 커서 渴水量은 世界的으로 적으며, 渴水量의 比流量은 $0.0013 \sim 0.0022 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 程度이다. 低水量은 大略 渴水量의 2倍 程度이며, 平水量은 또한 低水量의 大略 2倍程度로 算出 되었다.

4) 洪水量算出은 침투 洪水量 測定資料가 적어서 豪雨時의 降雨量과 洪水波의 時間別水位로 分析하여 算出하였다. 最大 洪水量을 比流量으로 환산해보면 제일 큰 榮山江의 約 $4.5 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 에서 제일 적은 $0.9 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 에 이르고 있다.

5) 現多目的댐으로서 河川流量變化의 큰 영향을 本課業調査地點에 미치는 大淸多目的댐 調節量은 計算檢討되었으며, 앞으로 下流用水 需要增加의 變化에 따라, 多目的댐과 群少댐으로 用水供給調節하여 물収支를 調節할 計劃을 建設部에서 樹立하였다.

6) 河川 汚染用水의 희석, 既得權用水量, 各施設物 및 舟運計劃의 원할유저 등을 爲한 河川維持用水를 洛東江 $39.95 \text{ m}^3/\text{sec}$ (津洞地點基準), 錦江 $17.28 \text{ m}^3/\text{sec}$ (江景基準), 榮山江 $2.09 \text{ m}^3/\text{sec}$ (河口基準), 蟾津江 $4.69 \text{ m}^3/\text{sec}$ (松亭基準)를 建設部에서 策定하여 河川수로 流下시키게 될 것이다.

7) 各 調査地點의 低水量 및 渴水量은 長期計劃 對象年度인 2001년까지 조금씩 增加되리라고 계산된다.

8) 各 河川 主要調査地點의 流量算出結果는 다음과 같다.

河川名	地点位置	流域面積 (km^2)	渴水量	低水量	平水量	計 劃 洪水量	備 考
忠 東 江	구 미 (N-11)	11,074.40	13.18	21.87	45.40	11,200	單位 : m^3/sec
	수산교 (N-27)	20,996.70	24.99	41.36	80.69	15,700	
錦 江	공 주 (G-17)	7,125.70	15.53	34.63	47.81	10,000	
榮 山 江	나 주 (Y-3)	2,035.20	2.50	5.80	9.60	4,600	
錦 津 江	송 정 (S-10)	4,278.60	7.30	14.42	34.40	12,000	

3. 河川의 自淨評價

河川의 自淨作用能力을 評價하기 위해서 水理水文 項目으로서 流速, 水深, 流量, 水面傾斜, 断面積 等과 DO, BOD₅, NH₃-N 水温, Chlorophyll a 濃度, 藻類의 光合成量과 呼吸率, 脫酸素係, 再曝氣係數, 窒 酸化合, 自淨係數 等を 現地에서 2回 測定 또는 調査하였다.

또한 5大江의 本流 中에서 重要區間 10個를 選定하여 DO 模型을 表示함으로써, 各 區間에서 DO 變動予測을 可能하게 하고, DO 變動에 影響을 미치는 因子들을 檢討하였다.

5大江의 各 地点과 各 區間에서 調査, 研究檢討한 結果은 다음과 같다.

1) 再曝氣係數 (K_d)는 算定公式에 따라 값의 變化가 매우 크게 나타나므로 各 區間에서 適合하다고 判斷되는 算定公式을 選定하였으며, 그 結果는 表 6.4 와 같다. 選定된 算定公式으로부터 計算된 K_d는 榮山江의 極樂橋 - 本德里 (Y-I) 區間이 5.7 ~ 7.7 day⁻¹로 가장 높았으며, 錦江이 1.5 ~ 4.2 day⁻¹, 그 外의 江에서는 1.5 ~ 2.6 day⁻¹의 分布를 보였다. 이러한 K_d의 값들은 流量에 따라서 그 값이 變化하는 것으로 나타났다.

2) 炭素 BOD (CBOD)에 依한 脫酸素係數 (K_d)는 General

Laboratory Method 를 利用한 結果, $0.1 \sim 0.5 \text{ day}^{-1}$ 의 分布를 보였으며, 各 地点들의 K_d 는 表 6.5 에 나타나 있다.

또한 BOD_5 와 K_d 는 거의 無關하며, 地点間的 差도 작은 것으로 나타났다.

3) 5 大江의 對한 窒酸化作用을 調査한 結果

錦江과 塘津江을 除外하고는 河川에서의 窒酸化作用이 상당히 활발한 것으로 나타났다. 區間에서 窒酸化作用에 依한 DO 消耗量 (區間 NBOD) 은 洛東江의 高靈橋 - 壹岩 (N-Ⅱ) 區間이 $1.6 \sim 4.4 \text{ mg} / \ell$, 榮山江의 本德里 - 羅州 (Y-Ⅱ) 區間이 $1.4 \sim 2.1 \text{ mg} / \ell$ 로 높게 나타나고 있으며, 특히 萬頃江의 參禮 - 江興里 (M-I) 區間的 區間 NBOD 는 $2.3 \sim 8.1 \text{ mg} / \ell$ 로써 가장 높게 나타났다.

이와같은 區間 NBOD 를 통하여 河川에서의 窒酸化作用이 河川의 DO 에 큰 影響을 미치고 있음을 알 수 있다.

4) 實測 當時의 水温에 對한 自淨係數(f)는 洛東江이 $5.0 \sim 15.6$, 錦江이 $2.3 \sim 11.6$, 榮山江이 $4.1 \sim 39.1$, 塘津江이 $3.3 \sim 16.7$, 萬頃江이 $2.8 \sim 8.9$ 로써 매우 높게 나타났다. 그러나 再曝氣係數(K_a)와 脫酸係數(K_d)만을 考慮한 f 值로써는 河川의 自淨能力을 評價하기는 매우 어려우며, DO의 供給源과 消滅源을 全部 포함하여 評價되어야 할 것으로 思慮된다.

5) 河川에서의 藻類의 光合成과 呼吸을 調査하기 위하여 Chlorophyll a 濃度を 求하여 光合成量(Pg)과 呼吸量 R을 推定했으며, 한편으로 dark and light 法을 利用하여 實際로 일어나는 光合成量 Pg와 呼吸量 R을 測定하였는데

Chlorophyll a 는 5 大江의 대부분 地点에서 $10 \text{ mg} / \text{m}^3$ 을 넘고 있어 藻類의 繁殖이 상당히 활발한 것으로 나타났다.

또한 河川에서 實際로 일어나고 있는 光合成量과 呼吸量도 洛東江의 南旨橋에서 Pg 와 R이 $1.0 \sim 9.6 \text{ mg} / \ell / \text{day}$, $3.0 \sim 5.2 \text{ mg} / \ell / \text{day}$

이 고, 錦江의 신구橋에서 P_g 와 R 이 $2.2 \sim 10.4 \text{ mg}/\ell/\text{day}$, $2.6 \sim 4.6 \text{ mg}/\ell/\text{day}$ 로써 매우 높게 나타나고 있다. 날씨 등의 現場條件에 따라 그 溶氧 變化가 매우 심하고, 흐린 날이나 밤에는 藻類가 呼吸을 通하여 DC 를 供給하는 것으로 나타났다 (圖 6.10 參照).

따라서 河川에서의 藻類의 繁殖은 河川에서의 DO 變動의 原因이 되고 있으며, 河川水質에 惡影響을 미치고 있다.

6) 5大江의 重要區間에서 DO 變動을 豫測하기 위한 DO 模型을 設定하기 위하여 DO 의 供給源으로 大氣로부터의 再曝氣와 藻類의 光合成을, DO 의 消滅源으로는 $CBOD$ 에 依한 DO 消耗, 窒酸化作用, 藻類의 呼吸 등을 測定하여 5大江의 10個區間에 對한 DO 模型의 媒介變數를 決定하고 DO 模型을 提示하였다.

이와같이 提示된 DO 模型은 水質이 가장 惡化될 것으로 생각되는 여름철 中에서 平水量 以下일 때를 對象으로 한 것이다.

6. 河川汚染 負荷量

河川에서 실제로 流送되는 流出汚染 負荷量의 實測 地点數는 洛素江의 4地点, 錦江, 榮山江 및 萬頃江에서 各各 2地点과 蟾津江의 1地点으로서 都合 11個 地点이다. 各 地点流域의 發生負荷量을 年度別로 推定하고, 實測된 流出汚染負荷量으로부터 地点別 流出率을 求하였으며 年次的인 河川의 流出汚染負荷量을 推定하였다. 分析된 重要結果는 다음과 같다.

1) 發生汚染負荷量의 推計는 全國主要河川 流域基礎調查(第1次年度의 結果를 바탕으로 하고 5大江流域의 地点別로 再集計하여 年度別

로 推計하였다.

2) 發生 汚染負荷量을 水系別로 檢討한 結果, 洛東江의 江倉, 錦江의 新子橋 및 榮山江의 유덕동 地點에 對한 流域面積에서 推定되는 2001 年度의 發生負荷量은, 1982 年度의 負荷量에 2.7 倍가 되어 다른 地點의 流域에 對한 增加率보다 높게 나타났다. 이는 上記地點의 流域內에 大邱, 大田 및 光州 等の 大都市가 位置했기 때문이다.

3) 河川의 11 個地點에 對한 流出汚染負荷量은 1 日間 2 時間 간격으로 流量과 BOD₅ 濃度を 實測하여 直接計算法으로 算定된 結果이다. 測定當時 流量은 渴水量으로부터 平水量의 範圍였으므로 非點汚染負荷量의 流出은 大部分 排除된 것으로 생각한다.

4) 大邱, 大田, 光州 및 全州 等の 大都市가 排水地域에 包含되고 同都市에 近距離의 下流에 位置한 河川의 地點에서 流送되는 流出汚染負荷量의 最大出現時間은 午後 5 時에서 9 時이며 最低發生時間은 午前 7 時에서 12 時 程度이다. 이와같은 流出汚染負荷量의 出現時間은 都市下水의 排出時間을 反映한 生活環境의 週期性을 나타 내는 것으로 判斷된다.

5) 流出汚染負荷量 測定結果, 洛東江의 高靈橋와 南旨橋에서는 BOD₅ 107,658 kg/日, 榮山江의 光州 유덕동과 極榮橋에서 7,622 kg/日, 蟾津江의 松亭里와 萬頃江의 全州 삼화洞 地點에서 各各 9,822 mg/日 과 5,569 mg/日이다.

6) 河川의 基準地點 流域에서 發生되는 發生汚染負荷量에 對한 流出汚染負荷量과의 比인 流出率은 琴湖江 下流의 江倉과 甲川下流의 新子橋 地點에서 各各 49.6%와 45.9%로 높은 값을 나타내고 있다.

이와 같이 流出率이 높은 것은 大邱와 大田의 都市下水와 工場廢水가 處理가 잘 되지 않고 地下浸透가 적은 狀態에서 直接 下水管渠를 通하여 河川으로 流出되는 關係인 것으로 判斷된다.

7) 河川負荷量의 流出率은 人口密度가 높은 排水面積을 가진 地點

에서 比較的 높은 값을 나타내고 있으나, 流域의 크기, 水文學的인 特性, 地質, 下水處理狀態 等 諸般 流域의 特性에 따라 다르게 나타나는 것으로 생각된다.

8) 河川의 流出率과 人口密度 / (流域面積)^{1/2}의 關係曲線(圖 7.22 參照)을 分析하여 볼 때, 萬頃江과 榮山江, 錦江 및 洛東江에 따라 세 가지 型으로 分類된 流出率曲線이 導出되었다. 이것은 河川流域이 特異에 起因된 것으로 본다.

9) 流出汚染負荷量을 直接 測定하지 않은 地点에 對한 流出負荷量의 推定은, 河川流域別로 作成된 流出率의 關係曲線으로부터 該當地点의 流出率을 求하고 이에 發生汚染負荷量을 乘하여 流出負荷量을 推定하였다. 全般的으로 2001年度의 流出汚染負荷量은 1982年 流出負荷量의 2倍以上으로 推定되고 있다.

7. 河川水質管理方向

渇水時로부터 平水時까지의 範圍에서 河川流量 規模와 流出 汚染負荷量別로 5大江의 10個 河川區間의 水質을 推定하여, 水質基準을 維持시킬 수 있는 流量規模와 汚染負荷量의 削減을 通해 河川水質管理의 基本的인 方向을 本調査에서 檢討하였는데, 그 重要結果는 다음과 같다.

1) 確率的으로 10年 再起頻度에 해당되는 7日 連續 平均 渴水量과 355日 渴水量은 水質管理의 側面에서 생각할 때 河川의 流量規模로서는 적은 것으로 判斷된다.

2) 水質管理面으로 볼 때 河川流量은 最小限 平均 渴水量 以上으로 維持시킬 必要가 있는 것으로 생각한다.

3) 洛東江의 區間別 DO와 BOD의 水質變動 推定結果, 河川流量은

平均 低水量程度。水質은 丙水域의 水質基準 (BOD 6 mg/l 以下, DO 5 mg/l 以上)에 達할 수 있도록 計劃하는 것이 바람직 한 것으로 본다.

4) 錦江의 錦南 - 錦江橋 (G-I)과 湄水 - 百濟橋 (G-II) 區間에서 平均 低水時의 流量程度인 $30 \text{ m}^3/\text{sec}$ 일때 丙水域의 水質을 維持시켜 주는 許容流出汚染 負荷量은 BOD₅ 15,550 kg/日로 推定되고 있다.

5) 大清湍의 放流調節 機能을 考慮할 때 錦江의 G-I 區間的 平均 濁水量이 $37 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以上으로 確保될 것으로 期待되는데 이 때 丙水域의 水質을 維持시켜 주기 爲한 許容流出汚染 負荷量은 BOD₅ 19,180 kg/日 으로 推定된다.

6) 榮山江의 極榮橋 - 本德里 (Y-I) 區間과 本德里 - 羅州 區間에서 平水量程度의 河川流量이 維持된다 하여도 農業用水의 適用對象인 J水域에 해당하는 水質基準에도 未達되는 것으로 推定된다. 따라서 大幅的인 負荷量 削減計劃이 要求된다.

7) 蟾津江의 下汗里 - 新月里 (S-I)와 新月里 - 松亭里 (S-II) 區間은 比較的 水質이 良好하여 全區間에 걸쳐 濁水時에도 自淨能이 큰 區間으로 判斷된다. 現狀態에서 汚染負荷量의 削減 없이 平水量 程度에서는 最小限 丙水域에 해당되는 水質이 維持될 것으로 생각한다.

8) 萬頃江의 汚染負荷量은 河川의 環境容量을 超過한 것으로 判斷되기 때문에 萬頃江의 水質保全을 爲해서는 全州市에 對한 大幅的인 下水處理施設과 萬頃江으로의 下水放流制限等 과감한 措置가 要求된다.

9) 年度別 流量規模에 對한 5大江의 水質變化推定은 表 8.5에서 表 8.14에 提示된 바와 같고, 流量規模別로 各 水質基準을 維持시켜 주기 爲한 許容流出 負荷量과 削減負荷量의 推定結果는 表 8.15에서부터 表 8.24와 같다.