

洛東江 水質變動에 對한 推計學的 研究

金 美 淑

서울大學校 保健大學院

A study on Stochastic Properties of Water Quality Variation in the Nack-Dong River.

Mee Suk Kim
*School of Public Health,
Seoul National University*

Abstract

The stochastic analysis was carried out to the hourly time series observed at Dae-gu, Wha-myung and Ku-mee in order to see water quality variation of the Nack-Dong River during Three months (July, Aug. and Sept.) in each year of 1979 and 1981.

As a result of this study, it was found that

1. The simple correlation coefficients between some of the variables were fairly high.
For example, the coefficients between Do and WT. were -0.824 (Dae-gu), -0.547 (Wha-myung), and -0.911 (Ku-mee).
The coefficients between COND and DO. were -0.263 (Dae-gu), -0.347 (Wha-myung) and -0.881 (Ku-mee).
The coefficients between COND and WT. were 0.531 (Dae-gu), 0.361 (Wha-myung) and 0.800 (Ku-mee).
2. Hourly water quality time series of WT and DO existed as dominant 24 hours Periodicity For example, the Aut correlation coefficients about WT were 0.960 ($K=1$), 0.846 ($K=24$), 0.691 ($K=48$), 0.596 ($K=72$), and 0.453 ($K=96$).
The auto-correlation coefficients of Do were 0.968 ($K=1$), 0.591 ($K=24$), 0.393 ($K=48$), 0.349 ($K=72$) and 0.250 ($K=96$).
3. Weekly water quality time series of WT and Do varied with the dominant 24 hours periodicity.

緒 論

1. 河川水質의 一般의 特性

河川의 水質은 여러가지 要因에 의하여 變化되고 있다. 流速, 확산, 流量, 移動등의 物理的 要因과 반응속도, 금속이온들의 평형상태, 溫度變化에 따른 熱化學作用등의 化學的 要因, 그리고 유기물질, 미생물, 광합성 등에 의한 生物學的 要因^{5,6,7)} 등이 있다. 그러나 現代의 複雜한 社會속에서 水質의 變化는 단순히 이러한 自然的인 條件에만 依存되는 것이 아니라, 下水나 廢水등의 人爲的인 環境條件이 커다란 要因으로 대두되고 있다. 또한 水質은 上述한 自然的인 요인도 人爲的 要因 外에도 時間에 따라 變化한다. 크게는 1 個年 동안에도 季節的 變化의 週期성을 가지고 있으며, 曜日은 물론, 1 日 동안에도 역시 時間的 週期成分³⁾을 가지고 있다.

2. 研究의 背景

이러한 河川水質의 特性 때문에, 水質은 推計學的 變量(Stochastic Variable)으로 간주될 수 있으며, 이 推計學的 變量의 값은, 統計的 개념을 포함한 確率成分을 가지고 있어, 時間의 變化에 따른 相關性과 週期성을 內包하고 있다.

水質資料의 推計學的 分析은 1960 年代 後半부터 시작되어 最近에는 國內에서 만도 1977 年, 1982 年 두 차례에 걸쳐 李^{3,4)}는 Spectral Density를 利用한 DO 濃度의 時間的 變動 分析(1977 年)과, Fourier 級數와 Spectral Density를 利用한 時間的 週期性과 日別 DO 時系列의 成分을 ARIMA 模型에 依해 分析(1982 年)하였다. 國外로는 Custer와 Kruckhoff¹⁾가 河口의 BOD와 DO 濃度의 推計學的 特性을 研究하였고 Long²⁾은 Fourier 級數를 利用하여 日平均 水溫을 推定하였다.

3. 研究의 目的

本 研究은 河川水質管理를 위한 水質의 特性 파악과 推計學的 分析의 必要性에 따라, 時間別 測定資料인 時系列을 가지고 다음과 같은 네가지 推計學的 分析을 그 目的으로 하였다.

- 1) 時間別 水質時系列의 特性 分析
- 2) 日別 水質時系列의 項目間의 相關性 分析
- 3) 水溫과 溶存酸素에 對한 自己相關 分析
- 4) 曜日別 時平均 水質 變化에 對한 特性 分析

이러한 推計學的 分析의 結果는 下水의 방류 계획이나 上水의 취수계획 및 水質管理를 위하여 有用하리라 생각한다.

推計學的 分析理論

本 研究에서는 大邱, 花明, 龜尾의 連續的인 時系列 資料로 週期成分은 Fourier 級數를 利用하여 主要週期를 決定하고 時系列 間의 持續性과 相關性은 自己相關係數의 分析을 適用시켰다.

1. 自己相關係數

自己相關分析은 時系列에서 時間的 持續性을 決定하는 技法^{8,9)}으로 주로 利用되는데, 自己 相關係數는 하나의 時系列에서 지체 時間 K와 값 間에 相關性을 나타내는 尺度로서 다음과 같이 定義된다.

$$\phi_k = \frac{\text{Cov.}(X_t, X_{t+k})}{\text{Var. } X_t} \dots\dots\dots (2-1)$$

단, ϕ_k ; 自己相關係數

$\text{Cov.}(X_t, X_{t+k})$; 母集團의 共分散

$\text{Var. } X_t$; 母集團의 分散

資料數가 N인 時系列資料에서 $\text{Cov}(X_t, X_{t+k})$ 의 推定值 C_k 와, ϕ_k 의 推定值 r_k 의 값은 다음과 같다.

$$C_k = \frac{1}{N-K} \sum_{t=1}^{N-K} (X_t - \bar{X}_t)(X_{t+k} - \bar{X}_{t+k}) \dots \dots \dots (2-2)$$

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-K} (X_t - \bar{X}_t)(X_{t+k} - \bar{X}_{t+k})}{(N-K) S_t \cdot S_{t+k}} \dots (2-3)$$

단, X_t ; X_{t+k} 의 平均值
 X_t 와 X_{t+k} 의 分散의 平方根인 標準偏差¹¹⁾를 求하면 다음과 같다.

$$S_t^2 = \frac{1}{N-K} \sum_{t=1}^{N-K} (X_t - \bar{X}_t)^2 \dots \dots (2-4)$$

$$S_{t+k}^2 = \frac{1}{N-K} \sum_{t=1}^{N-K} (X_{t+k} - \bar{X}_{t+k})^2 \dots \dots \dots (2-5)$$

그런데, 資料가 $\{X_t\}_{t=1}^n$ 인 定常時系列이던 X_t 와 X_{t+k} 는 X (母平均 μ 의 推定值)에, S_t^2 과 S_{t+k}^2 은 S_x^2 (母分散 σ_x^2 의 推定值)과 同一하게 接近하므로 C_k 와 r_k 는 다음과 같이 表現될 수 있다.

$$C_k = \frac{1}{N-K} \sum_{t=1}^{N-K} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X}) \dots \dots \dots (2-6)$$

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-K} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{(N-K) S_x^2} \dots (2-7)$$

自己相關係數 r_k 는 時系列 分析에 가장 重要한 값으로 Correlogram의 形態에 따라 時系列 模型을 선택할 수 있으며 週期性的의 判斷에도 利用된다.

2. Fourier 級數

時系列의 週期성을 찾는 데는 Spectral Density와 Correlogram 등의 技法이 있으나 여기서는 Fourier 級數를 利用한 說明分散을 擇하였다.

Fourier 級數의 展開式은 다음과 같다.

$$X_t = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_t + \sum_{j=1}^{N/2} (A_j \cos \frac{2\pi j}{N} t + B_j \sin \frac{2\pi j}{N} t) \dots \dots \dots (2-8)$$

N ; 時系列의 資料數
 A_j, B_j 는 J 調和函數의 係數로서 다음 式에서 얻어진다.

$$A_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^q X_t \cos \frac{2\pi j}{N} t \dots \dots (2-9)$$

$$B_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^q X_t \sin \frac{2\pi j}{N} t \dots \dots (2-10)$$

$$C_j = \sqrt{A_j^2 + B_j^2} \dots \dots \dots (2-11)$$

C_j 는 j 調和에 對한 振幅으로서 $C_j^2/2$ 는 j 調和函數의 分散과 같다.

그러므로 전체 週期函數에 對한 分散의 合은 時系列의 分散 S_x^2 과 같고 따라서 $C_j^2/2$ 는 時系列 X_t 에서 X_t 의 變動程度를 說明해 주는 것과 같으므로 說明分散(Explained Variance)이 된다.

分析 資料

1. 測定地點

本 研究에 利用된 資料는 洛東江유역에 自動水質測定機가 設置되어 있는 大邱, 花明, 龜尾의 세 地點으로 기간은 1975年 1月부터 1981年 12月까지이며, 환경청 통계과에 의뢰하여 수집한 것이다.

세 測定地點의 位置는 다음과 같다.

- 1) 大邱市 洛東江 水源池; 大邱市 西區 내 당동
- 2) 花明 淨水管理所; 釜山市 北區 花明洞 473
- 3) 龜尾市 洛東江 水源池; 龜尾市 비산동 龜尾橋

表 3-1 測定資料의 期間

測定地點 \ 期間(月)	1976年	1977年	1978年	1979年	1980年	1981年
大邱市洛東江水源池	5~12	1~4	5,7~ 10,12	1~11	1,4,5,8 9,10	1~10, 12
花明淨水管理所	5~12	1~12	1~6, 8~12	1~9	4,5	7~12
龜尾市洛東江水源池			7,9,10	5~11	1,4,5,8 9,10	3~10, 12

2. 測定項目

各地點의 自動測定網에 依해 얻어진 測定項目은 溶存酸素, 電氣電導度, 濁度, 水素이온濃度, 水溫과 全有機炭素等인데, 全有機炭素는 결측된 곳이 많아 제외시켜서 위의 5個項目을 測定項目으로 定하였다.

3. 分析資料의 選定

大邱市 洛東江 水源池, 花明淨水管理所, 龜尾市 洛東江 水源池의 세 地點에 設置된 自動水質測定機로부터 얻은 資料는 測定期間동안 缺測이 적고, 比較的 長期間의 測定이 가능했다는 點과 모든 資料를 日別로 記點한 結果, 그 信賴程度가 다른 地點에 比해 良好한 便이었다.¹²⁾

세 地點의 利用된 資料의 期間은 表 3-1 과 같다.

또한 各 水質項目間의 平均値는 表 3-2 에 提示하였다.

時間別 時系列과 日別 時系列에 利用된 資料로는 時間的으로 缺測이 전혀없이 連續的이고, 그 信賴程度가 높은 1979年 7,8,9月과 1981年의 7,8,9月 資料가 利用되었다. 그리고 曜日別 時系列에는 1979年 7,8,9月의 資料로 分析하였다.

水質變動의 特性分析

本章에서는 水質時系列에 對한 時別 및 日

別時系列의 資料를 利用하여, 時間別, 日別 및 曜日別 水質 變動의 特性을 分析하였으며, 適用된 技法은 自己相關分析과 Fourier 級數 分析이다.

1. 時間別 水質時系列의 特性 分析

1979年 7,8,9月의 連續時系列 資料를 利用하여, 各 項目別로 1時부터 24時까지 1日 동안의 各 時別로 時平均水質을 求하여, 24個로 構成된 時系列로 水質變動 特性을 分析하였다.

表 4-1 은, 日間水質의 時間的 變動을 나타낸 것으로 各 時系列로 부터 特定時刻(1時~24時)의 平均과 最大値 및 最大發生時間, 最低値와 最低發生時間 및 全體平均以上 發生時間 등이 提示되었다.

表 4-1 의 5個項目의 水質資料中 汚染物의 濃度와 直接으로 연관되는 것은 濁度와 電導度^{3,4)}이며, 溶存酸素와 水素이온濃度도 그 相關性이 높은 것으로 알려져 있다. 本 研究에서 利用된 資料는 7,8,9月이 季節的으로 여름이어서 우리나라 기후 특징상 강우량¹³⁾이 많아 濁度와 電導度의 精確한 測定値를 求하기 어려웠고, 最大發生時間과 最低發生時間도 일정치 않아 그 分析이 불가능 했다. 水溫은 午後 5時에서 9時까지가 最大이고, 午前 9時에서 12時까지는 最低이었으며, 平均以上發生時間은 午前 1時에서 4時와 午後 4時에서 12時까지로 나타났다.

또한 溶存酸素는, 最大發生時間이 午前 7時

表 3-2 月平均 水質變動 狀況(1976-1981 年) 平均值

地點	項目	月												平均	最高	最低
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
大	WT	1.5	3.2	9.3	15.1	20.4	24.4	26.9	25.6	21.4	16.2	6.1	3.1	14.4	26.9	1.5
	DO	9.2	8.8	8.5	8.2	8.2	6.2	6.4	6.5	7.2	8.1	9.5	9.7	8.0	9.7	6.2
	TB	7.4	8.2	11.7	57.6	16.0	27.0	63.0	66.2	38.6	16.9	5.9	5.8	27.0	66.2	5.8
	COND	200.6	204.8	179.1	147.0	139.1	101.6	136.2	165.8	199.2	197.7	203.2	157.9	169.4	204.8	101.6
明	pH	7.6	7.7	7.6	7.4	7.7	7.7	7.5	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7	7.6	7.7	7.4
	WT	1.7	4.4	9.5	14.0	19.2	22.9	25.6	26.7	23.5	18.9	10.0	4.8	15.1	26.7	1.7
	DO	10.6	10.4	9.2	8.9	8.9	7.9	7.4	7.1	7.5	8.2	9.0	10.1	8.8	10.6	7.1
	TB	13.3	20.0	18.8	65.6	25.4	64.2	50.2	91.6	70.7	20.3	17.3	17.3	38.7	91.6	13.3
尾	COND	93.3	135.7	102.6	91.4	156.3	117.4	103.0	91.9	85.1	118.7	98.3	87.8	106.8	156.3	85.1
	pH	7.3	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.3	7.3	7.3	7.0	7.1	7.0	7.1	7.3	7.0
	WT	1.5	3.8	6.1	14.2	20.4	23.6	26.8	26.1	21.4	17.0	7.4	1.5	14.2	26.8	1.5
	DO	11.4	11.1	10.6	8.0	7.2	7.3	6.7	6.7	7.0	8.1	8.9	11.9	8.7	11.9	6.7
尾	TB	8.6	8.8	9.2	15.8	20.1	28.6	44.9	35.2	50.1	25.6	6.8	1.0	21.2	44.9	1.0
	COND	681.0	433.3	321.2	287.8	333.8	226.8	198.4	317.1	295.5	303.9	567.1	220.0	348.8	681.0	198.4
	pH	7.9	7.7	7.6	7.5	7.7	7.4	7.5	7.5	7.7	7.7	7.4	7.9	7.6	7.9	7.4

表 4-1 日間水質의 時間的 變動(1979 年)

項 目	分類(月)	最大發生時間	最大值	最低發生時間	最低置	平均以上	平均以下	平均	
WT (°C)	大邱	7	17:00	27.40	10:00	25.81	1:00-2:00, 16:00-24:00	26.52	
		8	20:00	27.69	7:00	26.11	1:00-4:00, 16:00-18:00 20:00-24:00	27.02	
	龜尾	7	21:00	22.52	11:00, 12:00	21.40	1:00-3:00, 17:00-24:00	21.96	
		8	24:00	27.06	11:00	26.40	1:00-4:00, 17:00-24:00	26.66	
		9	19:00	27.58	9:00, 10:00	25.82	1:00-3:00, 15:00-24:00	26.75	
		9	17:00	19.45	3:00	18.75	9:00-21:00	19.12	
		9	17:00	19.45	3:00	18.75	9:00-21:00	19.12	
	DO m///	大邱	7	9:00	6.92	21:00	6.57	1:00-14:00	6.76
			8	8:00-10:00	6.70	17:00, 18:00	6.48	4:00-13:00, 24:00	6.57
9			1:00, 2:00	6.26	18:00	6.97	1:00-11:00, 22:00-24:00	7.15	
龜尾		7	5:00, 6:00	6.37	21:00	6.22	1:00-11:00	6.29	
		8	9:00	6.73	19:00	6.36	2:00-14:00	6.55	
		9	7:00, 9:00	6.44	18:00-20:00	6.12	2:00-13:00	6.28	
TB m///	大邱	7	13:00	62.26	20:00	47.85	1:00-2:00, 4:00-8:00 10:00-19:00, 21:00, 24:00	57.51	
		8	22:00	48.39	10:00	40.48	14:00-23:00	44.02	
		9	17:00, 20:00	42.67	13:00	39.18	1:00-4:00, 15:00-23:00	41.10	
	龜尾	7	3:00	34.68	14:00	33.39	1:00-7:00, 13:00, 16:00 17:00, 19:00-24:00	34.02	
		8	2:00, 3:00	31.45	20:00, 21:00	30.65	1:00-6:00, 16:00 8:00-11:00, 23:00-24:00	30.92	
		9	7:00	37.17	2:00	34.50	3:00-18:00	35.98	
COND m///	大邱	7	1:00 15:00, 16:00	213.55	3:00	194.94	1:00, 2:00, 4:00-8:00 10:00, 13:00-17:00, 24:00	211.27	
		8	10:00, 11:00	252.92	23:00, 24:00	242.90	4:00-16:00, 18:00-19:00	248.06	
		9	24:00	304.67	4:00	300.00	5:00-8:00, 12:00-14:00 17:00-24:00	303.05	
	龜尾	7	자		료		없	음	
		8	24:00	382.26	17:00	377.74	2:00, 6:00-14:00 21:00-22:00, 24:00	379.98	
		9	7:00, 8:00	464.00	16:00, 17:00	456.00	1:00-11:00, 24:00	459.88	
pH	大邱	7	9:00, 21:00	7.61	4:00	7.44	6:00, 7:00, 13:00-15:00 17:00-24:00	7.54	
		8	17:00	7.74	5:00	7.46	13:00-24:00	7.60	
		9	23:00	7.81	9:00-13:00	7.74	1:00-3:00, 5:00-7:00 16:00-24:00	7.77	
	龜尾	7	7:00-9:00	7.73	15:00, 16:00 18:00, 24:00	7.64	1:00-11:00	7.68	
		8	18:00	7.58	6:00	7.35	11:00-23:00	7.46	
		9							

에서 9時로 이는 水温이 最低로 나타나는 時間과 一致하여, 最低 發生時間인 午後5時부터 9時는, 水温의 最大發生時間과 一致되어 서로 반대현상을 볼 수 있다.

이는 大邱와 龜尾가 大都市이며 工業都市라는 점을 감안하여, 工業廢水나 家庭下水가 水温 상승과 어느 程度 關係가 있으리라고 예상되나, 이들 變動의 큰 영향은 日間气温의 週期的 變化에 起因되는 것으로 본다.

2. 日別 水質 時系列의 項目間의 相關性 分析

1979年, 1981年 7, 8, 9月의 日別水質資料에 對한 項目別 單純相關係數(Simple Correlation Coefficients)를 求하여 各 項目間의 相關性을 分析하였다.

表4-2에서 大邱81年, 花明79年, 龜尾81年의 5個項目間의 相關行列을 나타냈다.

表4-2 水質項目間의 相關行列

大邱81年	DO	TB	COND	WT	pH
DO	1	0.112	-0.263	-0.824	
TB		1	-0.457	-0.244	
COND			1	0.531	
WT				1	
pH					1

花明79年	DO	TB	COND	WT	pH
DO	1	0.050	-0.347	-0.547	0.316
TB		1	-0.588	-0.176	-0.295
COND			1	0.361	-0.019
WT				1	-0.151
pH					1

尾81年	DO	TB	COND	WT	pH
DO	1	0.412	-0.881	-0.911	0.711
TB		1	-0.522	-0.480	0.373
COND			1	0.800	-0.627
WT				1	-0.724
pH					1

가장 뚜렷이 나타나는 것은 水温과 溶存酸素로 相關係數 R값이 -0.824(大邱, 81年)-0.547(花明, 79年), -0.911(龜尾, 81年)으로 높은 逆相關關係에 있어, 어떤 要因보다도, 溶存酸素는 水温의 영향이 支配的임^{3,4,6)}임을 알 수 있다. 따라서 DO는 水温의 上昇에 따라 減少하고 있는, 一般的 傾向을 나타내고 있다.

電導度도 溶存酸素에 對하여 相關係數 r값은 各各, -0.263(大邱, 81年) -0.347(花明, 79年) -0.881(龜尾, 81年)등의 높은 逆相關關係를 가지고 있다. 또한 電導度는 水温에 對하여 相關係數 r값이 各各, 0.531(大邱, 81年) 0.361(花明, 79年) 0.800(龜尾, 81年)으로 높은 相關性을 가지고 있는데, 電導度는 常溫에서 1°C의 溫度上昇에 對하여 約2%增加하는³⁾ 것으로 알려지고 있다. 즉 溶存酸素, 水温, 電導度는 서로 높은 相關性을 가지고 있음을 알 수 있다.

3. 水温과 溶存酸素에 對한 自己相關分析

大邱, 1979年 7月의 時間別 時系列 資料를 가지고 式(2-7)을 利用하여, 水温과 溶存酸素의 二 項目에 對한 時系列 X_t 의 Correlogram을 求하여 各各 그 週期를 分析하였다. 分析 資料인 WT와 DO의 全時系列에 對한 各各의 Correlogram은 圖4-1과 圖4-2와 같다.

(1) 水温의 自己相關 分析

圖4-1에서 볼 수 있듯이, 뚜렷한 24時間 週期를 볼 수 있으며, 各 時間別 自己相關係數는 $R_1 = 0.960$, $R_{24} = 0.846$, $R_{48} = 0.691$, $R_{72} = 0.596$, $R_{96} = 0.453$ 으로 自己相關係數 R값은 서서히 減少되며, 原時系列 X_t 와 자체시간 K와는 큰 自己相關性이 있으며, 4日後까지도 큰 自己相關性이 있는 것으로 보아 水温의 24時間 週期變化는 뚜렷한 것으로 나타나고 있다.

(2) DO의 自己相關 分析

圖4-2에서와 같이 뚜렷한 24時間 週期를

볼 수 있으며, 時間別 自己相關係數의 變化는 $R_1 = 0.968$, $R_{24} = 0.591$, $R_{48} = 0.393$, $R_{72} = 0.349$, $R_{96} = 0.250$ 등으로 지체시간과 原時系

列 사이에는 높은 自己相關係數를 가지고 있으나, 그 程度는 WT 보다 적음을 알 수 있었고, 自己相關係數 R값의 變動도 역시 WT 보다는 급격

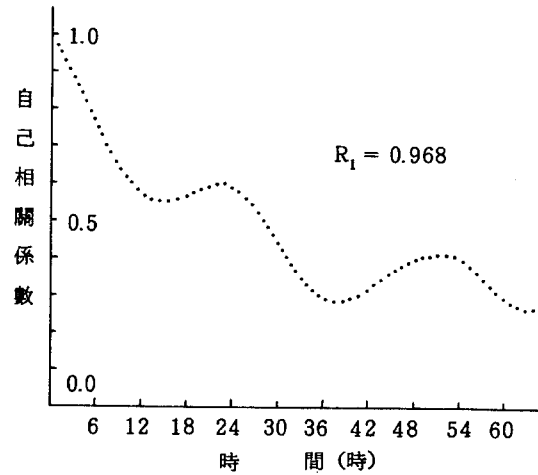
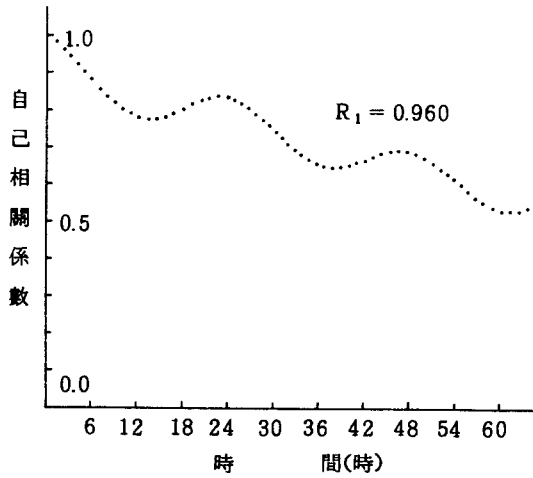


圖 4-1 水温의 Correlogram(7月, 1979年, 大邱)

圖 4-2 溶存酸素의 Correlogram(7月, 1979年, 大邱)

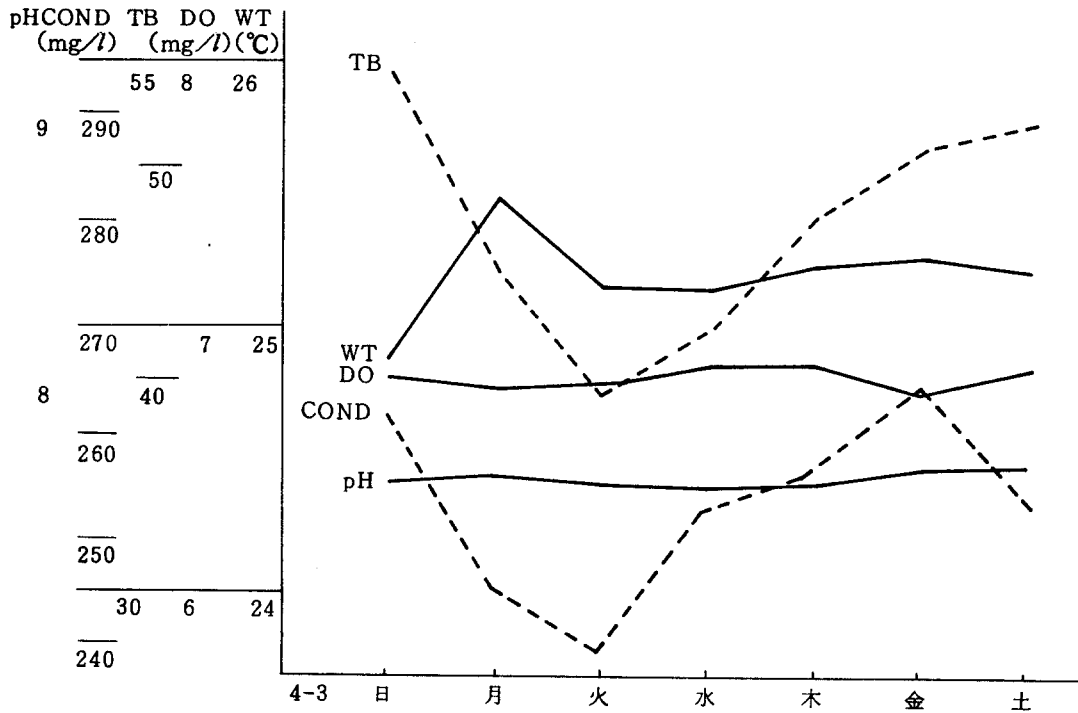


圖 4-3 曜日別 水質平均(1979年, 7, 8, 9月 大邱)

히 減少함을 볼 수 있다. 즉 原時系列에 미치는 時間的 變動은, DO보다 WT가 더 오랜기간 동안 時間에 對하여 濃縮적임을 나타낸다.

4. 曜日別 時平均 水質變化에 對한 特性分析

(1) 曜日別 水質의 特性分析

1979年 7, 8, 9月의 曜日別 連續時系列의 曜日別 水質平均置를 구하였다.

이를 圖表로 그려 圖 4-3, 4-4, 4-5에 表現하고 그 特性을 分析하였다. WT와 DO는 세 地點 모두가 뚜렷한 傾向을 나타내는데, 水温의 경우는 日曜日に 그 값이 大邱, 花明, 龜尾가 各各 24.88℃ 24.59℃ 24.05℃로 가장 적게 나타났으며, 月曜日には 급격한 水温의 上昇을 보이고, 火水木은 거의 全體 平均値와 비슷한 값을 유지하다가, 金曜日には 다시 上昇하며, 土曜日には 平均値로 유지됨을 알

수 있다. 이와같이 月, 金의 水温上昇과 日, 土의 水温減少라는 特性을 分析結果 알 수 있었다.

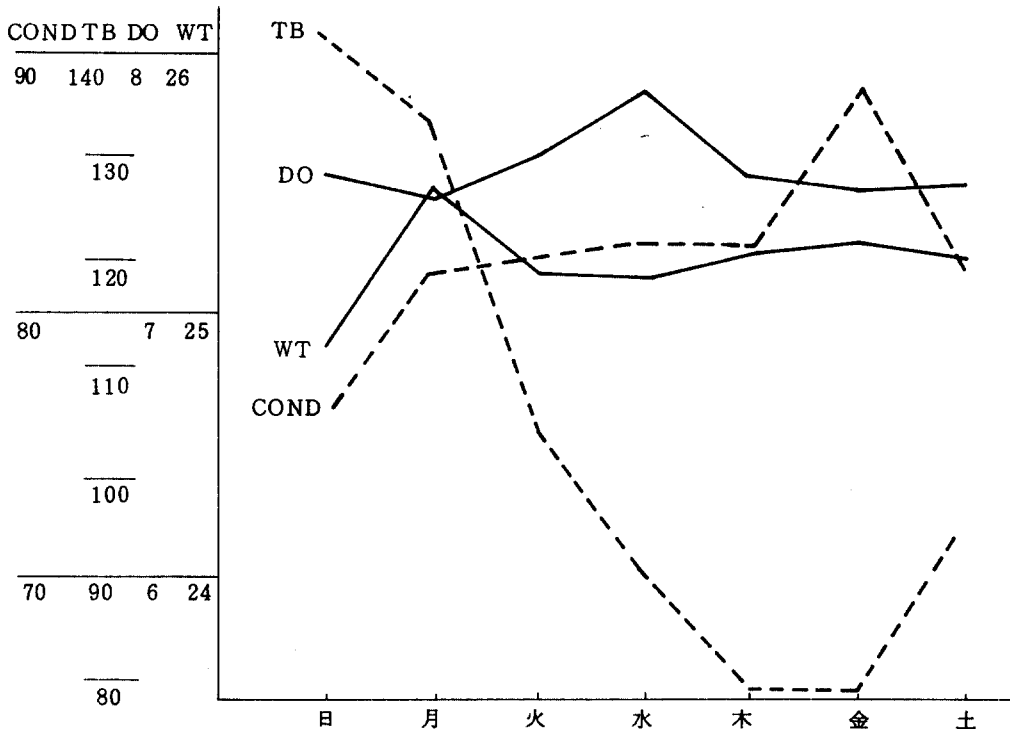
DO의 경우는, 月·金이 가장 낮은 값을 보이며 日·土와 水·木은 높은 값을 보여, 水温과는 그 傾向이 반대로 나타난다.

(2) 曜日別 自己相關性 分析

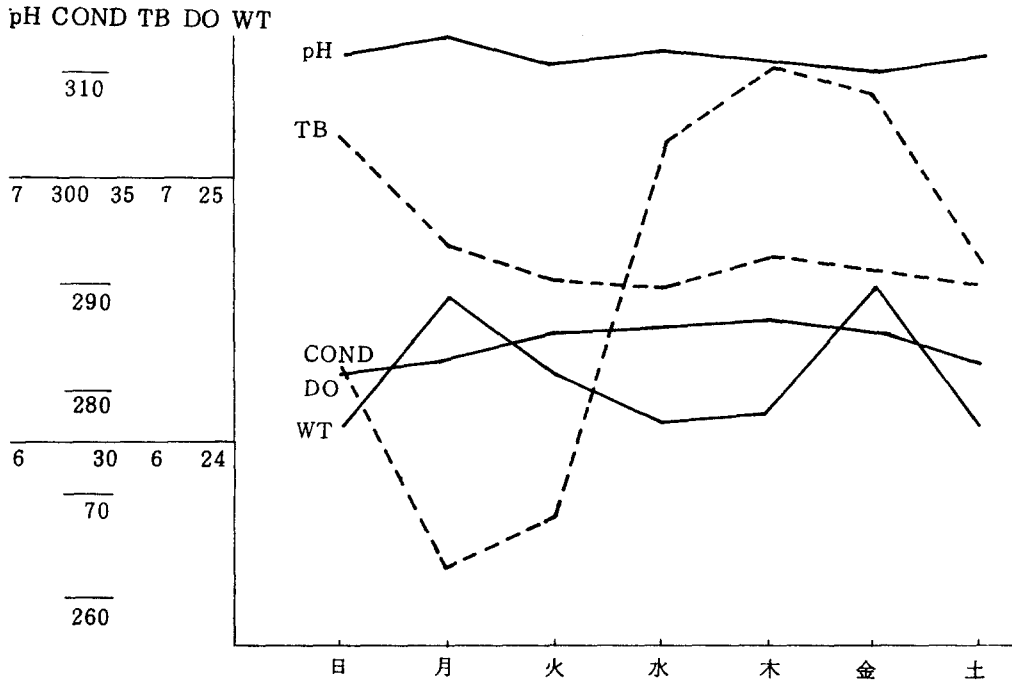
〈表 4-3〉時間變化에 따른 WT의 曜日別 自己相關係數(1979年, 大邱)

曜日 \ r	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅
日	0.869	0.667	0.037	-0.651	-0.814
月	0.843	0.649	0.169	-0.631	-0.665
火	0.881	0.589	-0.129	-0.754	-0.833
水	0.947	0.749	0.112	-0.742	-0.947
木	0.953	0.725	0.135	-0.712	-0.940
金	0.950	0.662	-0.159	-0.902	-0.929
土	0.830	0.527	-0.194	-0.790	-0.726

r : 自己相關係數



〈圖 4-4〉曜日別 水質平均(1979年, 7, 8, 9月 花明)



〈圖 4-5〉 曜日別 水質平均(1979年, 7, 8, 9月 尾)

各 曜日別 K時間에서의 自己相關係數는 表 4-3 와 表 4-4 과 같다. 전체적으로 大邱는 水温의 各 曜日別 自己相關係數가 DO의 自己相關係數보다 큼을 알 수 있으며, WT의 경우는 木 > 水 > 日 > 月 > 金 > 火 > 土의 順으로 時間別 相關係數가 높았고, DO의 경우는 木 > 金 > 水 > 土 > 月 > 火 > 日의 順이었다.

(3) 曜日別 週期性 分析

大邱의 1979年 7, 8, 9月 資料를 가지고, Fourier 級數를 利用하여 WT와 DO에 對한 週期를 分析하였으며 이에 對한 說明分散은 表 4-5 와 表 4-6 과 같다. 水温은 原時系列에 對한 第一次 週期函數의 說明分散이 79.0 ~ 88.9%였으며, DO는 第一次 週期函數의 說明分散이 69.4%~ 88.9%로 두 24時間 週期를 보여준다.

이러한 24時間週期는 洛東江 水質變動이 自然的 環境週期에 크게 영향을 받고 있음을 알

수 있다. 그러나 DO의 경우, 日曜日に 第二次 週期函數에 對한 說明分散이 22.2%이며, 月曜日には 13.6%로 12時間週期 成分이 큰 비중을 차지하므로서 生活環境條件에 따른 家庭下水와 工場廢水의 放流로 인한 一般生活週期의 영향을 생각할 수 있다.

DO의 24時間週期成分이 日曜日には 69.4

〈表 4-4〉 時間變化에 따른 DO의 曜日別 自己相關係數(1979年, 大邱)

曜日	r	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
日	0.838	0.149	-0.317	-0.721	-0.315	
月	0.892	0.560	-0.100	-0.727	-0.287	
火	0.893	0.518	-0.054	-0.704	-0.619	
水	0.862	0.507	0.066	-0.533	-0.730	
木	0.913	0.661	0.240	-0.424	-0.600	
金	0.883	0.542	0.136	-0.549	-0.484	
土	0.870	0.492	0.031	-0.638	-0.230	

r : 自己相關係數

％이며, 12時間 週期成分은 22.2％를 차지하여 家庭下水로 인한 12時間週期成分이 큰 비중을 차지하나 月요일부터는 12시간 주기성분이 13.6％로 減少되며, 火, 水, 木에는 24時間週期가 뚜렷해지고, 金曜日에는 다시 12時間週期가 3.7％로 증가하기 시작하여 土曜日

에는 6.1％가 된다.

이는 月曜日부터 金曜日까지는 企業活動이 많아 工場廢水의 放出이 주인데 반해, 土·日曜일은 生活 pattern 이 家庭生活로 옮겨져 下水放出이 많아지는데 그 원인이 있다고 하겠다.

〈表4-5〉 水温의 時平均에 對한 說明分散(1979年 大邱)

(1) 日曜日

description	order j	1	2	3	4	5	Remarks
Fourier	A_j	0.4430	0.0210	0.0140	-0.0240	-0.0500	
係數	B_j	-0.2920	-0.0290	-0.0320	0.0360	0.0030	
	C_j	0.5300	0.0360	0.0350	0.0430	0.0500	
	說明	$C_j^2/2$	0.1405	0.0006	0.0006	0.0009	0.0013
分散	％ to Var. X_t	87.8	0.4	0.4	0.6	0.8	Var. X_t = 0.1600

(2) 月曜日

	order j	1	2	3	4	5	Remarks
Fourier	A_j	0.4120	-0.0550	0.0180	-0.0440	-0.0360	
係數	B_j	-0.4580	-0.0610	0.0300	-0.1240	-0.0030	
	C_j	0.6160	0.0820	0.0350	0.1320	0.0360	
	說明	$C_j^2/2$	0.1897	0.0034	0.0006	0.0087	0.0006
分散	％ to Var. X_t	82.3	1.5	0.3	3.8	0.3	Var. X_t = 0.2304

(3) 火曜日

	order j	1	2	3	4	5	Remarks
Fourier	A_j	0.4090	0.0080	0.0110	-0.0290	-0.0440	
係數	B_j	-0.2960	0.0440	0.0410	-0.0220	0.0030	
	C_j	0.5050	0.0450	0.0420	0.0360	0.0440	
	說明	$C_j^2/2$	0.1275	0.0010	0.0009	0.0006	0.0010
分散	％ to Var. X_t	88.3	0.7	0.6	0.4	0.7	Var. X_t = 0.1444

(4) 水曜日

		order j	1	2	3	4	5	Remarks
Fourier 係 數	A_j		0.5430	-0.0630	0.0020	0.0210	0.0330	
	B_j		-0.4430	-0.0990	0.0020	-0.0310	-0.0610	
	C_j		0.7010	0.1170	0.0030	0.0370	0.0700	
說 明	$C_j^2 / 2$		0.2457	0.0068	0.0	0.0007	0.0049	
分 散	% to Var. Xt		87.5	2.4	0.0	0.2	1.7	Var. Xt = 0.2809

(5) 木曜日

		order j	1	2	3	4	5	Remarks
Fourier 係 數	A_j		0.5580	-0.1010	0.0380	0.0110	-0.0440	
	B_j		-0.4380	-0.0670	0.0060	-0.0080	0.0030	
	C_j		0.7090	0.1210	0.0380	-0.0140	0.0440	
說 明	$C_j^2 / 2$		0.2513	0.0073	0.0007	0.0001	0.0010	
分 散	% to Var. Xt		87.6	2.5	0.2	0.0	0.3	Var. Xt = 0.2869

(6) 金曜日

		order j	1	2	3	4	5	Remarks
Fourier 係 數	A_j		0.4940	-0.0630	-0.0260	-0.0420	-0.0130	
	B_j		-0.2620	-0.0760	0.0010	0.0170	0.0130	
	C_j		0.5600	0.0990	0.0260	0.0450	0.0180	
說 明	$C_j^2 / 2$		0.1568	0.0049	0.0007	0.0010	0.0002	
分 散	% to Var. Xt		88.9	2.8	0.4	0.6	0.1	Var. Xt = 0.1764

(7) 土曜日

		order j	1	2	3	4	5	Remarks
Fourier 係 數	A_j		0.4570	-0.0890	0.0210	-0.0280	-0.0760	
	B_j		-0.3110	0.0240	0.0820	-0.0420	0.0060	
	C_j		0.5530	0.0920	0.0840	0.0500	0.0770	
說 明	$C_j^2 / 2$		0.1529	0.0042	0.0035	0.0013	0.0030	
分 散	% to Var. Xt.		79.0	2.2	1.8	0.6	1.5	Var. Xt = 0.1936

〈表 4-6〉溶存酸素の 時平均에 對한 說明分散(1979年, 大邱)

(1) 日曜日

order j		1	2	3	4	5	Remarks
Fourier	A_j	-0.0510	0.0261	0.0020	-0.0050	0.0180	
年 數	B_j	0.0490	-0.0290	0.0120	0.0030	0.0020	
	C_j	0.0710	0.0390	0.0120	0.0060	0.0180	
說 明	$C_j^2 / 2$	0.0025	0.0008	0.0001	0.0	0.0002	
分 散	% to Var. X_t	69.4	22.2	2.8	0.0	5.6	Var. X_t = 0.036

(2) 月曜日

order j		1	2	3	4	5	Remarks
Fourier	A_j	-0.0640	0.0440	-0.0020	0.0120	-0.0040	
係 數	B_j	0.0940	-0.0130	0.0100	0.0070	-0.0190	
	C_j	0.1140	0.0460	0.0100	0.0130	0.0190	
說 明	$C_j^2 / 2$	0.0065	0.0011	0.0001	0.0001	0.0002	
分 散	% to Var. X_t	80.2	13.6	1.2	1.2	2.5	Var. X_t = 0.0081

(3) 火曜日

order j		1	2	3	4	5	Remarks
Fourier	A_j	0.0370	0.0120	0.0240	0.0210	0.0200	
係 數	B_j	0.1140	-0.0230	0.0020	-0.0170	-0.0020	
	C_j	0.1200	0.0260	0.0240	0.0270	0.0200	
說 明	$C_j^2 / 2$	0.0072	0.0003	0.0003	0.0004	0.0003	
分 散	% to Var. X_t	88.9	3.7	3.7	4.9	2.5	Var. X_t = 0.0081

(4) 水曜日

order j		1	2	3	4	5	Remarks
Fourier	A_j	0.0180	-0.0110	0.0100	-0.0080	-0.0180	
係 數	B_j	0.1160	-0.0230	-0.0340	0.0130	0.0030	
	C_j	0.1180	0.0250	0.0350	0.0150	0.0180	
說 明	$C_j^2 / 2$	0.0070	0.0006	0.0006	0.0001	0.0002	
分 散	% to Var. X_t	86.4	7.4	7.4	1.2	2.5	Var. X_t = 0.0081

(5) 木曜日

order j		1	2	3	4	5	Remark
Fourier 係 數	A_j	-0.0180	-0.0060	-0.0100	0.0200	0.0040	
	B_j	0.1310	-0.0160	-0.0140	0.0080	0.0010	
	C_j	0.1320	0.0170	0.0170	0.0210	0.0040	
說 明	$C_j / 2$	0.0087	0.0001	0.0001	0.0002	0.0	
分 散	% to Var. X_t	87.0	1.0	1.0	2.0	0.0	Var. X_t = 0.0100

(6) 金曜日

order j		1	2	3	4	5	Remark
Fourier 係 數	A_j	-0.0190	0.0220	0.0280	0.0100	0.0030	
	B_j	0.1060	-0.0100	0.0130	-0.0200	0.0010	
	C_j	0.1080	0.0250	0.0300	0.0220	0.0030	
說 明	$C_j / 2$	0.0058	0.0003	0.0009	0.0002	0.0	
分 散	% to Var. X_t	71.6	3.7	11.1	2.5	0.0	Var. X_t = 0.0081

(7) 土曜日

order j		1	2	3	4	5	Remark
Fourier 係 數	A_j	-0.0360	0.0090	0.0110	-0.0000	-0.0050	
	B_j	0.0770	-0.0210	0.0080	-0.0240	0.0040	
	C_j	0.0850	0.0230	0.0140	0.0240	0.0060	
說 明	$C_j / 2$	0.0036	0.0003	0.0001	0.0003	0.0	
分 散	% to Var. X_t	73.5	6.1	2.0	6.1	0.0	Var. X_t = 0.0049

結 論

洛東江의 水質變動에 對한 推計學的 變動을 觀察하기 위하여 1979年과 1981年 7, 8, 9月의 大邱, 花明, 龜尾 세 地點의 연속측정자료를 가지고 分析한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 時別 水質時系列의 特性 分析

水溫의 最大發生時間은 午後 5時에서 9時까지이며, 最低發生時間은 午前 9時에서 12時까지였다.

또한 溶存酸素의 最大發生時間은 午前 7時-9時이며, 最低發生時間은 午後 5時-9時로, 두 項目이 서로 반대 傾向을 나타내, 溶存酸素 變動에 가장 큰 영향을 주는 것은 水溫이라는 사실을 확인할 수 있었다.

(2) 日別 水質時系列의 項目間의 相關性 分析

日別水質資料에 對한 項目別 單純相關係數를 구하여 分析한 結果, 水溫과 溶存酸素의 相關係數 R값은 大邱, 龜尾, 花明이 各各 -0.824, -0.547, -0.911로 높은 逆相關關係에 있으며, COND와 DO의 相關係數 R은 -0.263(大邱), -0.347(花明), -0.881(龜尾), COND와 WT의 相關係數 R도 0.531(大邱), 0.361(花明), 0.800(龜尾)의 相關性을 나타내었다.

(3) WT과 DO에 對한 自己相關 分析

WT와 DO 모두 뚜렷한 24時間週期를 볼 수 있으며 WT의 경우 各 時間別 自己相關係數가 $R_1 = 0.960$, $R_{24} = 0.846$, $R_{48} = 0.691$, $R_{72} = 0.596$, $R_{96} = 0.453$ 으로 原時系列과 지체 시간 K와는 큰 自己相關性이 있어, 4日後까지도 原時系列 變動에 커다란 영향을 미침을 알 수 있다.

또한 DO의 경우도 自己相關係數가 各各 $R_1 = 0.968$, $R_{24} = 0.591$, $R_{48} = 0.393$, $R_{72} = 0.349$, $R_{96} = 0.250$ 으로 역시 지체시간과 原時系列 사이에 높은 自己相關性을 가지고 있으나, 自己

相關係數 R의 減少는 DO가 WT보다 더 급격해, 原時系列에 미치는 時間的 變動은 WT가 DO보다 더 오랜기간 동안 時間에 對하여 중속적임을 알 수 있다.

(4) 日別 時平的 水質變化에 對한 特性 分析

① 水溫의 變化는 日曜日에 가장 낮았고, 月, 金은 가장 높게 나타나며, 火, 水, 木은 平均値를 유지하였으며, DO는 반대경향을 나타냈다.

② 水溫은 原時系列에 對한 24時間週期函數의 說明分散이 79.0~88.9%로 나타났으며, 溶存酸素의 24時間週期函數에 對한 說明分散은 69.4~88.9%로 나타나 뚜렷하게 24時間週期를 나타낸다.

參考文獻

- 1) Custer S. W. and R. G. Krutchkoff : Stochastic model for BOD and DO in estuaries, J. Sanit. Eng. DTV. Amer. Soc. Civil Eng. 95 (SA 5), pp.865~885, 1969.
- 2) Long L. L.: Water temperature forecasting and Estimation using fourier series and communication theory, Water Resour. Res. 12 (5), pp. 881~886, 1976
- 3) 李弘根 : 漢江 下流部의 水質變動에 對한 推計學的 特性, 土木工學科, 서울大學校 大學院, 1982.
- 4) 李弘根 : 漢江 水質汚染의 推定學的 變動에 對한 研究, 大韓保健協會誌, Vol. 3, No.1, pp. 43~51, 5月, 1977.
- 5) Linvil G. Rich : Environmental Systems Engineering, McGraw-Hill, Kogakusha chap 1. 1973.
- 6) Emil T. chanlett : Environmental Protection, McGraw-Hill Kogakusha pp.

- 16~23, 1979.
- 7) P. Aarne Vesilind : Environmental Pollution and Control, Ann-Arbor Science, pp. 9~25, 1975.
- 8) George E. P. and Gwilym M. Jenkins : Time Series Analysis forecasting and Control, Holden-Dity, Sant., Calif., 1970.
- 9) John Willey & Sons : Introduction to Statistical Time Series. Wayne A Fuller.
- 10) 鄭英鎮 : 近代統計學의 理論과 實際, 寶音齋, chap. 10, pp. 181~196, 1980.
- 11) 水島治夫 : 簡約統計學, 南江堂 chap. V, 1969.
- 12) 神戸市 環境局 水質保全課 : 神戸市域における水質管理技術의 研究, 水質保全 論文集, 水質管理計劃編, pp. 24~53, 1977.
- 13) 중앙관상대 : 기상월보, 7~9月, 1979年.
- 14) Joseph L. Pavoni : Handbook of Water Quality Management Planning, Van Nostrand Reinhold Co. chap. 4, 1977.
- 15) 朱仁鎬, 寶 順德 : 醫學統計學, 三和出版社, chap. 17, pp. 167~177, 1967.
- 16) 高應麟, 金正根, 李東宇, 李英煥 : 保健統計學, pp. 132~169, 1979.