

## 삼교호유역의 수질자료를 이용한 군집분석 및 요인분석

### Cluster and Factor Analyses Using Water Quality Data in the Sapkyo Reservoir Watershed

임 창 수\* / 신 재 기\*\*  
Chang-Soo Rim / Jae-Ki Shin

---

#### Abstract

The monthly water quality data measured at 19 stations located in the Sapkyo reservoir watershed were clustered into 2 to 7 clusters and factor analysis was conducted to characterize the water quality, using the information obtained from cluster analysis. The result of cluster analysis shows that Sapkyo reservoir and each stream (Sapkyo stream, Muhan stream and Kokkyo stream) in Sapkyo reservoir watershed have their own water quality characteristics. The result of water quality analysis indicates that the concentration of suspended solids from Sapkyo reservoir is much higher than those of other streams, and which is probably because of increment of phytoplankton biomass with rich nutrient flowing into Sapkyo reservoir from the upper stream of watershed. Furthermore, the concentrations of biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand were 3.5 to 4.8 times and 1.7 to 2.5 times those of other streams, respectively. The overall water quality of Sapkyo reservoir watershed was considered to exceed eutrophic condition. Based on factor analysis, the water quality characteristics of Sapkyo stream and Muhan stream were closely related with farm land and residence. The water quality of Kokkyo stream was influenced by superabundant organic matter flowing from Chonan city and district wastewater treatment plant located in the upper stream of Kokkyo stream. The water quality factor influencing Sapkyo reservoir was closely related with water quality factors of other three streams.

*keywords* : reservoir, streams, water quality, cluster analysis, factor analysis

---

#### 요 지

삼교호유역에 위치한 19개 수질관측지점에서 측정된 월별수질자료를 이용하여 수질관측지점을 2개에서 7개의 수질특성으로 분류하였으며, 그에 따른 수질요인분석을 실시하였다. 군집분석결과 삼교호유역의 각 하천은 개개의 수질특성을 보이고 있으며, 삼교호, 삼교천, 무한천 및 곡교천의 4개 그룹으로 나눌 수가 있었다. 수질분석결과에

---

\* 청운대학교 토목환경공학과 조교수

Assistant Prof., Dept. of Civil and Environmental Engrg., Chungwoon Univ., Choong nam 350 701, Korea  
(E mail : csrim@chungwoon.ac.kr)

\*\* 인제대학교 낙동강유역환경연구센터 전문연구원

Professional Researcher, Environmental Research Center for Naktong River Watershed of Inje University, Kimhae, Kyoungnam 621 749, Korea(E mail : jaekishin@hanmail.net)

의하면 삼교호에서는 부유물질의 농도가 다른 하천보다 높았는데 이는 하천으로부터 유입되는 풍부한 영양염에 의한 식물플랑크톤의 생물량 증가에 따른 것으로 사료된다. 또한 곡교천의 수질은 다른 하천에 비해 생화학적산소요구량은 3.5~4.8배, 화학적산소요구량은 1.7~2.5배 높았으며, 전반적으로 삼교호 유역의 수질은 부영양상태를 훨씬 초과하였다. 요인분석결과 삼교천과 무한천은 농경지와 주거지에 의한 수질요인이 지배적이었고, 곡교천은 천안도 시지역으로부터 유입되는 과도한 유기물유입과 상류에 위치한 하수처리장의 영향을 복합적으로 받고 있는 것으로 사료된다. 삼교호의 수질은 삼교천과 무한천 및 곡교천에서 높은 부하를 보인 인자가 주된 오염요인으로 나타났다.

**핵심용어 :** 저수지, 하천, 수질, 군집분석, 요인분석

## 1. 서론

인구의 증가, 산업의 발달 및 도시화로 인해 유역하천으로부터 생활하수와 산업폐수가 다량 유입되고, 또한 농경지나 산지 등 비점오염원으로부터 오염물질이 하천으로 유입되어 하천의 자정능력 범위를 초과하게 되면, 수질의 오염도가 증가하게 된다. 이와 같이 각 지류로부터 하천분류로 유입되는 오염물질은 지류유역의 특성, 즉 토지이용 조건, 인구밀도 및 산업조건 등에 따라 상이하게 다르다. 따라서 여러 지류 및 분류지점에 위치한 수질관측 지점으로부터 측정되어진 수질자료들을 이용하여 다변량 수질분석을 실시함으로써 전반적인 각 수질관측 지점간의 수질특성을 파악할 수 있을 것이다. 다변량분석은 연구대상으로부터 측정된 2개 이상의 변수들의 관계를 동시에 분석할 수 있는 통계적인 기법으로, 요인분석, 회귀분석, 다변량분산분석, 판별분석, 군집분석 등이 있으며, 본 연구에서는 군집분석과 요인분석을 통하여 수질자료의 분석을 실시하였다.

군집분석은 특성자료가 얼마나 비슷한 값을 갖는지를 거리로 환산하여 거리가 가까운 대상들을 동일한 집단으로 편입시킴으로서, 수질자료를 이용한 군집분석은 대상들이 지니고 있는 다양한 수질특성의 유사성을 바탕으로 동질적인 수질관측점으로 묶어주게 되며, 다수의 수질관측점을 몇 개의 동질적인

관측점으로 군집화 함으로서 동일군집내에 속해있는 관측점의 수질특성을 조사하기 위한 목적으로 이용된다. 요인분석은 변수들 간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 변수들끼리 묶어주는 방법으로, 여러 항목이 복잡하게 연관되어 있어 직접적인 해석이 어려운 항목간의 관계를 보다 간결하게 묶음으로서 그 특징을 쉽게 해석하고 평가하는데 목적이 있다.

수질자료를 이용한 다변량분석연구로는 요인분석을 통한 진해만의 생태계 변화요인 평가(홍순우 등, 1986), 다변량해석을 통한 마산만 저층수의 수질평가(Lee 등,

1996)를 수행한 바 있다. 이종남 등(1998)은 밀양강의 식물플랑크톤상의 연구에서 군집분석을 적용한 바 있으며, 밀양강은 크게 수량이 적고 얕은 계류수역인 상류 수역과 수량이 많고 수심이 깊은 하류수역으로 나누어짐을 밝혀냈다. Rim(1998)은 미국 Kansas주에 위치한 Kansas강 하류의 9개지점의 수질자료를 이용하여 군집분석 및 요인분석을 수행한 바 있으며 Kansas강 하류 9개지점의 수질특성을 토지이용에 따른 비점오염과 점오염의 특징으로 구분됨을 밝혀냈다. 또한 임창수(1999)는 금강 대청댐 하류에 위치한 14개 수질관측지점의 수질자료를 이용하여 군집분석 및 요인분석을 수행한 바 있으며, 연구 결과에 따르면 대청댐하류구간의 수질관측지점 중 갑천과 유구천이 가장 상이한 수질특성을 보이며, 갑천에서의 수질특성은 산업폐수나 도시지역생활하수 등에 기인한 수질오염물질의 유입에 따른 것으로, 유구천의 경우에는 농촌지역으로부터의 유사의 유입과 충인의 유입 그리고 생활하수와 가축으로부터 배출되는 각종 분뇨에 의한 수질오염요인인 것을 밝혀냈다. 윤양호와 박종식(2000)은 주성분분석을 적용하여 거금수도의 수질환경 및 식물플랑크톤의 변동요인을 해석하였다. 연구결과에 따르면 계절에 따라 거금수도의 해양환경을 지배하는 요인이 다르게 나타나고 있으며, 거금수도는 지속적으로 유입되는 하천 등의 결여로 수도내의 영양염류는 해조류양식장 등에서 유입되는 유기물분해에 의한 재순환과 해수의 유입에 의존하는 비율이 큰 것으로 나타났다.

본 연구에서는 첫번째로 삼교호유역의 주요 분류 및 지류에 위치한 19곳의 수질관측지점의 수질변수를 이용한 군집분석을 실시하여 서로 비슷한 수질특성을 가지고 있는 관측지점을 몇 개의 군집으로 군집화하였다. 또한 서로 다른 군집으로 분류된 수질관측지점들에 대한 요인분석을 실시하여 각기 서로 다른 수질특성을 보이는 요인을 알아보았다. 따라서 본 연구의 결과는 삼교호유역에 위치한 기존의 수질관측 지점간의 수질특성

연구에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 조사방법

본 연구에서는 환경부(2000a)에서 관리하는 삼교호 유역 수질관측점의 월별 수질자료를 이용하여 수질의 일반적 특성을 분석하였고, 삼교호유역의 주요 본류 및 지류에 위치한 수질관측지점의 수질자료를 이용하여 군집분석을 실시하여 서로 비슷한 수질특성을 가지고 있는 관측지점을 몇 개의 군집으로 군집화하였다. 또한 서로 다른 군집으로 분류된 수질관측지점들에 대한 요인분석을 실시하여 각기 서로 다른 수질특성을 보이는 요인을 알아보았다.

### 2.1 조사지점

삼교호 유역은 충남 홍성군 장곡리 기러기재(표고 344.9m)에서 발원하여 남쪽으로 유하하다가 무한천, 곡교천과 합류하여 삼교호를 이루고 최종적으로 아산만을 통해 서해로 배수된다. 유역면적은 1670km<sup>2</sup>, 유로 연장 65km이며, 유역내에는 예당저수지를 비롯하여 수 개의 농업용 저수지가 축조되어 있다.

최근 들어 삼교호유역에 위치한 하천들의 수질이 점차 오염되어 수질개선을 위한 대책수립이 절실히 요구되고 있다. 이들 수질오염 발생부하량을 인구, 산업 및 축산별로 구분해 보면 인구에 의한 오염발생량은 전체 발생원의 86%, 산업에 의한 오염발생량은 10%, 그리고 축산폐수에 의한 오염발생량은 4% 정도에 해당한다. 또한 생화학적산소요구량을 고려하여 삼교호 유역의 오염발생원을 분석하면 인구가 37.5%, 산업이 2.2%, 축산이 37.5%, 양식장이 2.8%, 온천이 10.3% 그리고 토지이용에 따른 오염발생량이 약 9.7% 정도에 해당한다 (금강환경관리청, 1997). 금강환경관리청(1997)에 따르면 삼교천의 수질은 현재 2급수인 것으로 분류되고 있으나 향후 하수종말처리장의 증설과 고도하수처리 등과 같은 적절한 수질오염원 관리가 병행되지 않으면 수질은 더욱 악화될 수 있는 시점에 있다.

### 2.2 수질자료

본 연구를 위해서 사용되어진 수질자료는 환경부(2000a)에서 관리하는 수질관측점의 월별 수질자료로서 삼교호유역의 본류 및 지류에 위치한 수질관측 지점의 월별자료를 이용하였으며 자료의 기간은 1995년 1월부터 1999년 12월까지이다. 삼교호유역에서 선택된 19곳의 수질관측 지점들은 Fig. 1에 나타나 있으며, 관

측 지점명은 충의대교(S1), 구만교(S2), 구양교(S3), 신대교(M1), 동산교(M2), 송지리(M3), 예당저수지댐(M4), 신례원교(M5), 남부교(M23), 원성교(K22), 남산교(K21), 천안공단(K24), 휴대교(K25), 남관교(K11), 옥정교(K31), 강청교(K12), 군덕리(R1), 대음리(R2) 및 삼교호방조제(R3) 등이다. 또한, 분석에 이용된 수질자료는 8개의 기초 수질자료로서 즉, 용존산소(DO), 생화학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 부유물질(TSS), 총대장균군수(TC), 총질소(TN), 총인(TP) 및 전기전도도(SC)이다.

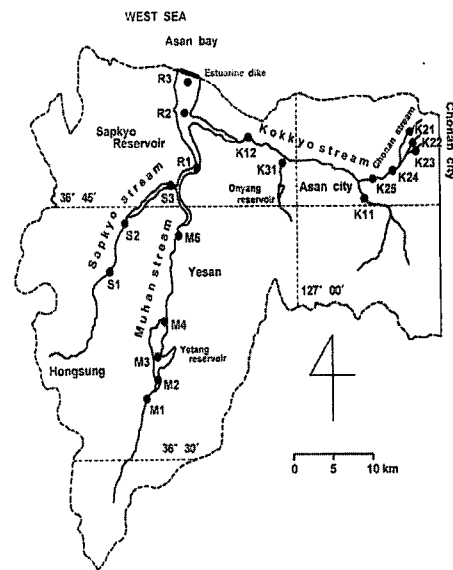


Fig. 1 Sampling stations

### 2.3 군집분석

본 연구에서는 삼교호유역의 주요 본류 및 지류관측 지점에서의 수질변수를 이용한 군집분석 (Johnson과 Wichern, 1988)을 실시하여 서로 비슷한 수질특성을 가지고 있는 관측지점을 군집화하였으며, 또한 가장 수질특성이 다른 군집으로 분류된 수질관측지점을 선정하여 수질관측지점의 수질요인을 비교·분석하였다.

군집분석은 특성자료가 얼마나 비슷한 값을 갖는지를 거리로 환산하여 거리가 가까운 대상들을 동일

한 집단으로 편입시키게 된다. 따라서 수질자료를 이용한 군집분석은 대상들이 지니고 있는 다양한 수질특성의 유사성을 바탕으로 동질적인 수질관측점으로 묶어주게 되며, 다수의 수질관측점을 몇 개의 동질적인

관측점으로 군집화 함으로서 동일군집내에 속해있는 관측점의 수질특성을 조사하기 위한 목적으로 이용된다.

본 연구에서 분류의 대상은 삼교호유역의 분류 및 지류에 위치한 19곳의 서로 다른 수질관측지점이며, 분류를 위하여 각 수질관측지점에서 관측되어진 수질 자료의 평균값을 이용하였다. 19개의 수질관측 지점을 군집화하기 위하여 적용되어진 방법은 single-linkage agglomeration hierarchical 방법(Barlett, 1938)이다. 이 방법은 기존의 군집에 속해 있는 대상 중에서 어느 하나와 가장 가까운 대상으로부터 군집에 편입시키는 방법이다. 또한 대상 자료들의 유사성을 거리로 환산하기 위하여 euclidean distance 방법을 적용하였으며, 이 방법은 다음 식(1)로 표현되어질 수 있다. 이 식은 변수값들의 차이를 제곱하여 합산한 거리, 다차원 공간에서 직선최단거리를 말하며, 가장 일반적으로 사용되는 거리측정방법이다. 이때 거리의 계산시 만약 변수값을 표준화하지 않는다면 변수값의 단위에 따라 상이한 결과를 초래할 수 있기 때문에 본 연구에서는 분석에 앞서 수질자료의 표준화를 통하여 선정된 수질변수들의 중요도를 표준화하였다.

$$d_{kl} = [ \sum_i (X_{ik} - X_{il})^2 ]^{0.5} \quad (1)$$

여기서,  $X_{ik}$ 는 수질관측지점  $k$ 에서 수질변수  $i$ 의 평균값을 나타내며,  $X_{il}$ 은 수질관측지점  $l$ 에서 수질변수  $i$ 의 평균값을 나타낸다.

#### 2.4 요인분석

요인분석은 변수들 간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 변수들끼리 묶어주는 방법이다(Johnson과 Wichern, 1988). 따라서, 여러 항목이 복잡하게 연관되어 있어 직접적인 해석이 어려운 항목간의 관계를 보다 간결하게 묶음으로서 그 특징을 쉽게 해석하고 평가하는데 목적이 있다. 요인모델은 벡터  $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_p)'$ 가 벡터 무작위변수인 공통요인(common factor)이라고 불리는  $\mathbf{F} = (f_1, f_2, \dots, f_m)'$ 와 vector random error 또는 특수요인(specific factor)이라고 불리는  $\mathbf{U} = (u_1, u_2, \dots, u_p)'$ 와의 선형조합이라는 가정에 근거한다. 특히 행렬로서 기본모델은 다음 식과 같이 표현되어진다 (Barlett, 1938).

$$\mathbf{X} - \mathbf{C} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{F} + \mathbf{U} \quad (2)$$

여기서

$$\mathbf{X} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_p]'$$

$$\mathbf{C} = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_p]'$$

$$\mathbf{F} = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_m]'$$

$$\mathbf{U} = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_p]'$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{p1} & a_{p2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_{pm} \end{bmatrix}$$

그리고  $[\ ]'$ 는 괄호안 변수 값의 전환을 나타낸다. 식(2)에서  $c_i$ 는 변수  $x_i$ 의 평균값이며  $x_i$ 의 관측 값으로부터 산정되어진다. ( $p \times m$  행렬  $\mathbf{A}$ 는 산정되어진 요인적재량(factor loading) 행렬이다 (Krzanowski, 1988). 또한 무작위 벡터(random vector)  $\mathbf{F}$ 와  $\mathbf{U}$ 에 대해서 다음과 같은 가정에 근거한다. 첫째, 행렬  $\mathbf{X}$ 는 평균이  $\mathbf{C}$ 이고 공분산 행렬  $\Sigma$ 인 다변량정규분포를 하는 무작위 벡터(random vector)이다. 둘째,  $\mathbf{F}$ 는  $E(\mathbf{F})=0$ 이고 그리고  $Cov(\mathbf{F})=E(\mathbf{F}\mathbf{F}')=I$ 인 무작위 벡터(random vector)이다. 따라서 각각의 공통요인(common factor)  $f_1, f_2, \dots, f_m$ 은 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 한다. 셋째, 행렬  $\mathbf{u}$ 는  $E(\mathbf{U})=0$ 인 무작위 벡터(random vector)이다. 즉

$$Cov(\mathbf{U})=E(\mathbf{u}\mathbf{u}')=Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & q_2 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & q_p \end{bmatrix}$$

그리고  $\mathbf{u} \sim N(0, q)$ 이며,  $q_i$ 는  $i$ 번째 특수분산(specific variance)이다. 네 번째 가정으로는  $\mathbf{F}$ 와  $\mathbf{U}$ 가 독립적이다. 즉,  $Cov(\mathbf{F}, \mathbf{U})=E(\mathbf{F}\mathbf{U}')=0$ 이다. 따라서 이러한 가정들에 근거하여 공식(2)의 기대값은 다음 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} E(\mathbf{X}) &= E(\mathbf{C} + \mathbf{A}\mathbf{F} + \mathbf{U}) \\ &= \mathbf{C} + \mathbf{A}E(\mathbf{F}) + E(\mathbf{U}) = \mathbf{C} \end{aligned} \quad (3)$$

공분산의 정의로부터 공분산 행렬( $\Sigma$ )는 다음 식(4)로 표현되며

$$\begin{aligned} \Sigma &= E\{(X - C)(X - C)'\} \\ &= AE(\mathbf{F}\mathbf{F}')A' + AE(\mathbf{F}\mathbf{U}') + E(\mathbf{U}\mathbf{F}')A' \\ &\quad + E(\mathbf{U}\mathbf{U}') \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $F$ 와  $U$ 는 평균 0을 가진 무상관의 무작위 벡터(random vector)이므로,  $E(FU') = E(UF') = 0$  라는 관계식이 성립된다. 또한  $E(FF') = I$  이고  $E(UU') = Q$  이며, 따라서 다음 관계식이 성립된다.

$$\Sigma = AA' + Q \quad (5)$$

여기서  $(p \times p)$  행렬  $Q$ 는  $Cov(U)$  그리고  $E(UU')$  와 동등하다. 식(4)와 식(5)로부터  $i$  번째 행과  $i$  번째 열의 성분은 다음 식(6)와 식(7)으로 표현되어진다.

$$\sigma_{ii} = h_i^2 + q_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (6)$$

$$h_i^2 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + a_{i3}^2 + \dots + a_{im}^2 \quad (7)$$

여기서  $h_i^2$ 는  $i$  번째 변수  $x_i$ 에 대한 공통요인(common factor)의 공통성(communality)이다.

공식 (2)의 기본 모델을 설정하기 위하여는  $m$  개의 공통요인(common factor)과 요인적재량(factor loading), 특수분산(specific variance), 그리고 요인점수(factor score)가 가용자료로부터 산정된다. 산정방법은 주성분분석에 의해서 요인적재량 행렬  $A$ 를 산정하고 그리고 특수분산 행렬  $U$ 를 구하여야 한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 수질변수들의 평균값 비교

삽교호와 유입하천의 주요 지점에서 1995년부터 1999년까지 조사된 수질의 평균값과 표준편차를 나타낸 것은 Fig. 2와 같다. DO의 평균 농도는  $8.4 \text{ mg O}_2/\text{l}$ 이었다. K24, K25 및 K31 지점의 평균값이  $5.9 \text{ mg O}_2/\text{l}$ 로서 그 수준 이하이었고, 다른 지점에 비해 DO의 결핍이 현저하였다. SC는 무한천이  $211 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로서 낮았고, 곡교천이  $686 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로서 높았다. SS는 평균값이  $17.4 \text{ mg dw}/\text{l}$ 이었고, K24 지점에서  $32.6 \text{ mg dw}/\text{l}$ 로서 높았다. 또한 TSS는 유입하천보다도 삽교호가 평균값이  $20.2 \text{ mg dw}/\text{l}$ 로서 가장 높았다. 이는 하천으로부터 유입되는 풍부한 영양염에 의해 식물플랑크톤의 생물량이 증가하여 이에 대한 영향이 컸던 것으로 추정되며, 신재기 등 (2000)이 경안천과 팔당호 구간에서 조사된 선행연구 결과와 유사하였다. 분변성 미생물의 오염지표인 TC는 곡교천에서 평균 세포 밀도가  $72.8 \times 10^2 \text{ MPN}/\text{ml}$ 로서 다른 하천보다  $146 \sim$

$3,640$ 배 범위로 많았다. 따라서, 곡교천은 미생물 오염이 극심함을 알 수 있었고, 현재 우리나라 하수처리 과정에서 하·폐수와 분뇨를 합병처리 (2차처리)하는 것에 기인하는 결과 (신재기 등, 2001)로 볼 수 있었다.

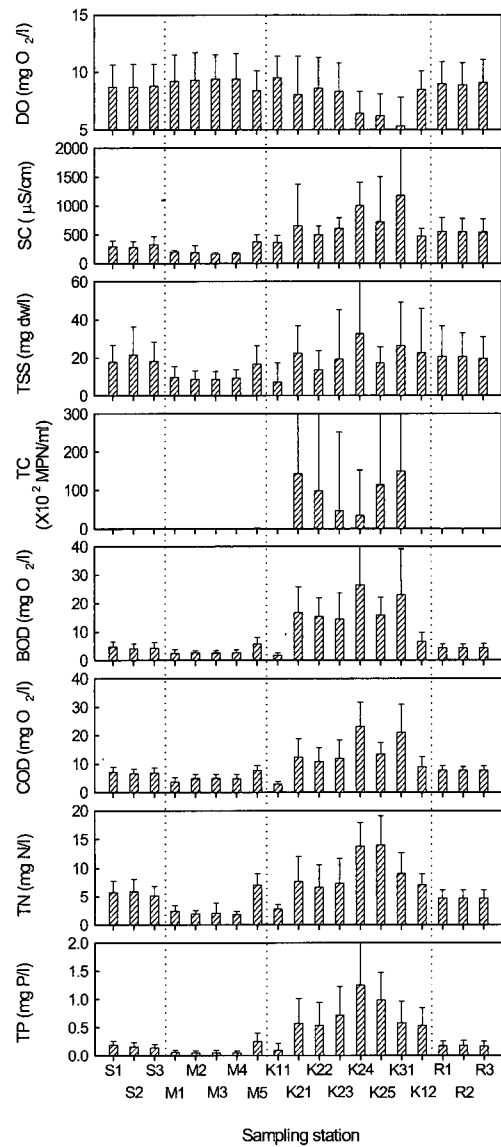


Fig. 2. Average and standard deviation of water quality variables at measurement stations

BOD와 COD는 유기물 오염의 척도로서 곡교천이 다른 하천에 비해 BOD는  $3.5 \sim 4.8$ 배, COD는  $1.7 \sim$

Table 1. The Euclidean distance matrix of 19 sampling stations using monthly water quality data

	S1	S2	S3	M1	M2	M3	M4	M5	K23	K22	K21	K24	K25	K11	K31	K12	R1	R2
S2	0.581																	
S3	0.290	0.553																
M1	1.830	2.185	1.761															
M2	1.959	2.342	1.894	0.335														
M3	1.992	2.371	1.932	0.368	0.121													
M4	1.970	2.326	1.899	0.351	0.168	0.125												
M5	0.619	0.997	0.820	2.199	2.321	2.361	2.365											
K23	2.662	2.806	2.784	4.015	4.059	4.098	4.101	2.318										
K22	2.793	3.067	2.906	3.645	3.655	3.685	3.704	2.546	1.517									
K21	3.825	3.864	3.898	5.024	5.074	5.115	5.110	3.573	1.995	1.786								
K24	6.893	6.862	7.015	8.498	8.537	8.581	8.584	6.481	4.629	5.685	4.769							
K25	5.081	5.213	5.259	6.381	6.450	6.494	6.526	4.577	3.089	3.387	2.810	3.808						
K11	2.160	2.558	2.085	0.796	0.880	0.901	0.942	2.408	4.058	3.672	5.104	8.571	6.399					
K31	6.536	6.557	6.589	7.849	7.867	7.936	7.942	6.150	4.518	4.842	3.545	3.595	3.438	7.896				
K12	1.489	1.441	1.592	3.152	3.265	3.301	3.280	1.292	1.686	2.568	3.160	5.614	4.216	3.307	5.681			
R1	1.115	1.093	0.938	2.358	2.470	2.519	2.480	1.283	2.563	2.923	3.696	6.669	5.201	2.454	6.233	1.413		
R2	1.063	1.048	0.888	2.328	2.443	2.493	2.455	1.225	2.551	2.908	3.688	6.665	5.171	2.434	6.223	1.388	0.079	
R3	1.040	1.097	0.863	2.219	2.328	2.376	2.341	1.216	2.579	2.879	3.731	6.748	5.218	2.298	6.301	1.466	0.172	0.177

2.5배 높았다. TN과 TP의 평균 농도는 삼교천에서 각각 5.6 mg N/l, 0.16 mg P/l, 무한천에서 3.1 mg N/l, 0.09 mg P/l, 곡교천에서 8.6 mg N/l, 0.66 mg P/l 및 삼교호에서 4.7 mg N/l, 0.18 mg P/l이었다. 전체 지역의 평균값은 TN이 6.1 mg N/l이었고 TP가 0.36 mg P/l로서 이것을 상회하는 것은 곡교천만 해당하였다. 또한, 연평균 TN과 TP값을 기준으로 하여 각각 1.9 mg N/l, 0.08 mg P/l를 부영양상태로 보는 OECD (1982)의 기준과 > 1.5 mg N/l, > 0.1 mg P/l를 과영양상태로 보는 Forsberg과 Ryding (1980)의 기준을 적용하면 삼교호 유역은 부영양 또는 과영양 상태를 훨씬 초과하였다.

### 3.2 수질관측지점의 군집화

Table 1은 SPSS를 운영하여 얻어진 19곳의 수질관측 지점간의 Euclidean distance 행렬을 보여주고 있으며, Fig. 3은 19곳의 수질관측 지점이 군집화되어 가는 과정을 보여주는 수지도 (dendrogram)이다. R1과 R2 간의 Euclidean distance ( $d_{kl}$ )가 가장 작으며, M4와 K24 사이의 Euclidean distance ( $d_{kl}$ )가 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 19곳의 수질관측지점 중에서 M4와 K24의 수질특성이 가장 다르며, R1과

R2사이의 수질특성이 가장 유사하다는 것을 보여준다. 또한 삼교호유역 중 오염부하량이 클 것으로 사료되는 천안시에 위치한 수질관측지점(K21, K22, K23, K24, K25)의 수질은 해당저수지 상류에 위치한 수질관측지점(M1, M2, M3, M4)과 가장 다른 수질특성을 보여주었다.

Table 2에서는 19곳의 수질관측 지점의 cluster membership을 보여주고 있다. 본 연구에서는 너무 세분하여 수질관측지점을 수질특성별로 분류하여 군집화하는 경우 군집분석의 의미가 상실된다는 점을 고려하여 2~7개의 군집만을 제시하였다. 2개의 군집으로 분류하였을 경우에 천안공단만이 다른 수질특성을 보였으며 3개의 군집으로 분류하였을 경우에는 K24와 K31지점이 그 외 17곳의 수질관측지점의 수질과 상이한 특성을 보였다. 4개 수질특성 군집으로 분류하였을 경우에 K24, K31지점 그리고 K25지점이 그 이외의 16개 지점과 비교하여 각기 다른 수질특성을 보였다. 5개의 군집으로 분류하는 경우 이들 3개 지점을 포함한 K21지점의 수질이 다른 지점의 수질과 상이한 독립적인 수질특성을 보였다. 이는 천안공단에서 배출되는 오염물질이 직하류에 위치한 K25지점의 수질에 직접적으로 영향을 미치고 있으며 K31 상류지점에서의 오염원 배출

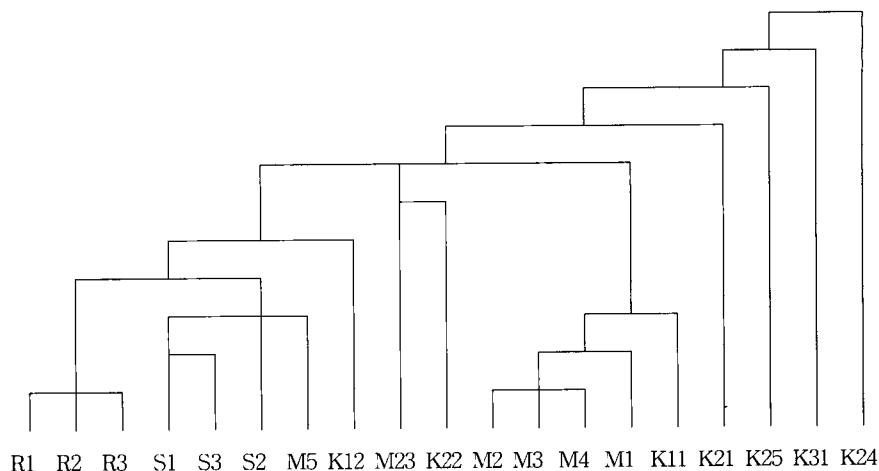


Fig. 3. The dendrogram showing the clustering process

로 인하여 유사한 수질특성을 보이는 것으로 사료된다. 6개 및 7개 군집으로 분류하는 경우 예당저수지와 그 상류에 위치한 수질관측지점인 M1, M2, M3 그리고 M4에서의 수질이 같은 수질특성을 보였으며, 삼교호내의 수질관측지점인 R1, R2, R3의 수질이 같은 수질특성을 보였다. 7개 수질특성 군집으로 분리하는 경우 곡교천에 위치한 수질관측지점들은 그 이외의 지점들과 달리 유사한 수질특성을 보이지 않았고, 삼교호와 만나는 삼교천의 최하류지점(S3)과 무한천의 최하류지점(M5) 그리고 곡교천의 최하류지점(K12)의 수질은 삼교호의 수질관측지점(M1, M2, M3)과 동일한 군집으로 분류되었다. 또한, 삼교천과 무한천이 합류된 지점 직하류에 위치한 R1지점은 무한천 수질특성보다는 삼교천수질특성과 더 유사한 관계를 보이고 있으며, 이는 무한천의 수질이 예당저수지의 저류로 인한 유량의 감소에 따른 것으로 판단된다.

군집분석결과에 의하면 삼교호유역의 수질은 지류별로 상이한 수질특성을 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 삼교호유역의 수질은 삼교호(R1~R3), 삼교천(S1~S3), 무한천(M1~M4) 및 곡교천(K21, K24, K25, K31)의 4개 그룹으로 나눌 수가 있었으며, 이것은 삼교호를 중심으로 유입하천의 상·하류에 분포하는 오염원의 영향을 현저하게 반영하고 있는 것으로 판단된다. 삼교천과 무한천은 전형적인 농촌 하천이고, 곡교천은 중·상류에 온천과 공단 도시를 두고 있다. 곡교천 수질은 유입하천인 천안천(K24~K25)과 온천천(K31)의 영향이 가장 큰 것으로 나타났고, 다른 유입 하천과 비교할 때 가장 이질적이었다. 천안천의 지류 중에서

K21, K22 및 K23지점은 도시를 관류하는 전형적인 소하천으로써 각각 독립적인 수질을 보였고, 미처리된 생활하수의 영향이 극심하였다. 무한천은 예당저수지의 M2~M4구간이 거의 유사하였고, 무한천과 곡교천의 최상류 지점인 M1, K11과 군집되었다. 삼교천의 S1~S3지점은 무한천의 최하류 M5지점과 군집을 이루었다. 삼교호의 R1~R3구간은 예당저수지와 마찬가지로 저수지의 수질 특성이 잘 반영되어 단일 그룹화를 이루었고, 이것은 삼교천 구간과 무한천, 곡교천의 하류 수질과 관련성이 있는 것으로 나타났다.

삼교호 유역에서 수질 자료를 분석한 결과 오염도에 따른 특성이 있음을 알 수 있었다. 수질조사 지점간 Euclidean distance 행렬에서 가장 차이가 큰 지점은 M4와 K24로서 특히 DO, BOD, COD, SS, TN, TP 및 SC 요인 영향이 대별되었다. M4는 농촌 저수지의 최하류 지점으로 비교적 청정한 수역인데 반해, K24는 천안하?폐수종말처리장 (시설용량 70천톤/일, 표준활성슬러지법)직후에 위치하고 있어 생활 및 공단 오?폐수를 차집 처리하여 배출하는 처리수의 영향이 매우 큰 곳이다 (환경부, 2000b). 따라서 M4와 K24지점은 오염도의 양극화 현상이 뚜렷하였고 하류의 삼교호에 미칠 수 있는 영향 잠재력도 비교될 수 있었다. K31은 이산하수종말처리장 (시설용량 36천톤/일, 표준활성슬러지법)을 수계에 두고 있어 천안천 다음으로 오염이 심한 전형적인 도시하천에 해당한다 (환경부, 2000). 하수처리장 배출수는 신생 점오염원으로써 그 영향은 우리나라 4대강 대부분 수계에서 겪고 있는 부영양화의 원인을 제공하여 개천, 강 및 저수지 등의 담수뿐만 아

Table 2. Cluster membership between water quality sampling stations

Measurement stations	Number of Clusters					
	7	6	5	4	3	2
S1	1	1	1	1	1	1
S2	1	1	1	1	1	1
S3	1	1	1	1	1	1
M1	2	2	1	1	1	1
M2	2	2	1	1	1	1
M3	2	2	1	1	1	1
M4	2	2	1	1	1	1
M5	1	1	1	1	1	1
K23	3	1	1	1	1	1
K22	3	1	1	1	1	1
K21	4	3	2	1	1	1
K24	5	4	3	2	2	2
K25	6	5	4	3	1	1
K11	2	2	1	1	1	1
K31	7	6	5	4	3	1
K12	1	1	1	1	1	1
R1	1	1	1	1	1	1
R2	1	1	1	1	1	1
R3	1	1	1	1	1	1

나라 연안 오염의 주 요인으로 지적되고 있는 실정에 있다 (신재기, 1998; 신재기 등, 2000; 임창수 등, 2000). 또한 Euclidean distance가 가장 작았던 곳은 삼교호 상류 (R1)와 중류 (R2)로서 수질 차이가 크지 않았다.

결과적으로, 삼교호 유역에서 수질의 오염도를 평가한 결과 곡교천의 수질이 가장 악화되어 있고 그 다음으로 삼교천, 삼교호 그리고 무한천의 순으로 나타났다. 또한, 무한천 (M1 ~ M4)과 곡교천 (K11)의 상류는 매우 청정한 수질을 유지하여 도시와 공단에 인접한 천안천과 온천천의 수질과는 크게 대비되었다.

### 3.3 요인분석

군집분석결과에 의하면 삼교호유역의 수질은 지류별로 상이한 수질특성을 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 삼교호유역의 수질은 삼교호(R1~R3), 삼교천(S1~S3), 무한천(M1~M4) 및 곡교천(K21, K24, K25, K31)의 4개 그룹으로 나눌 수가 있었으며, 각 수질관측지점의 수질요인을 알아보기 위하여 요인분석을 실시하였다. 수질자료를 이용한 요인분석을 수행하기 위하여 필요한 가정한 자료의 정규분포성을 만족시키기 위

하여 원래의 자료에 상용대수를 취하여 자료를 변환하였다. 삼교호 유역의 하천과 저수지를 대상으로 요인 분석한 결과는 Table 3~6과 같다. Table 3~6은 각 수질관측점에서의 각기 다른 수질관측점에서의 제1요인에 대한 수질변수들의 요인적재량 (factor loadings)을 보여주고 있다.

요인적재량은 각 변수와 요인간의 상관관계의 정도를 나타내 주는 것이다. 따라서 각 변수들은 요인적재량이 가장 높은 요인에 속하게 된다. 그러나 어느 정도 적재량이 커야 유의한 것인지를 판단하는 정확한 기준은 없다. 보통  $\pm 0.3$  이상이면 적재량의 유의성이 있다고 할 수 있으며, 보수적인 기준으로는  $\pm 0.4$  이상으로 잡는 경우도 있다.  $\pm 0.5$  이상이면 매우 높은 적재량이라고 할 수 있다. 그러나 적재량의 유의도는 표본의 수, 요인의 수에 따라 변동하게 되므로 이에 대해서는 Hair 등 (1979)에 의해서 언급되어 있다.

삼교천 (S1~S3)의 경우, 상류 수질은 BOD (0.74), COD (0.85) 등의 유기물 요인이, 하류에서는 부유물질 (0.80)과 분변성 대장균 (0.68)요인이 높은 비중을 차지하였다. 무한천 (M1~M5)의 경우, COD가 0.65~0.77범위, M1을 제외한 다른 지점에서 SS가 0.74~



0.83범위로서 공통적인 제 1요인으로 추출되었다. 이것은 하류로 유하하면서 농경지와 주거지로부터 비롯되는 탁수와 농촌 생활하수의 영향이 컸던 것으로 추정되었다. 곡교천의 중상류부류 유입되는 천안천은 TN, TP 및 SC가 K21에서 각각 0.64, 0.79, 0.57, K22에서 0.86, 0.70, 0.73 및 K23에서 0.82, 0.70, 0.74로서 수질의 지배 요인으로 볼 수 있었고, BOD와 COD가 K22에서 0.82, 0.79, K23에서 0.76, 0.87로서 주요 인자에 해당하였다. 하?폐수종말처리장에서 처리수가 배출된 직후인 K24에서는 BOD (0.87), COD (0.85) 및 SC (0.68)가 제 1요인으로, DO (0.81)가 제 2요인으로, TN (0.79), TP (0.79)가 제 3요인으로 추출되어 용존 전해질이 풍부할 뿐만 아니라 과도한 유기물 유입에 따른 DO의 요구도가 높은 것으로 설명될 수 있었고, 질소와 인의 부하도 매우 큼을 알 수 있었다. 천안천 하류 (K25)는 천안천 중류 (K21~K23)와 하수처리장 (K24)의 영향을 복합적으로 받아 전술한 제 1요인이 모두 해당하였다.

한편, 곡교천의 또 다른 지류인 온천천 (K31)은 천

안천 다음으로 최대 오염하천 (황병기와 이상호, 2000)으로서 SS (0.84), BOD (0.81)가 제 1요인, SC (0.78), COD (0.74)가 제 2요인 및 TN (0.91), TP (0.66)가 제 3요인으로 추출되어 유기물과 영양염의 부하가 높았고 이것은 천안천과 유사한 양상이었다. 끝으로, 삼교호는 상류의 R1에서 COD (0.81), BOD (0.70), TP (0.63) 및 SS (0.60)가 제 1요인으로 나타난 반면, R2와 R3는 각각 SC 0.82, 0.80, DO 0.70, 0.81 및 TN 0.69, 0.64가 제 1요인으로서, 삼교천과 무한천 그리고 곡교천에서 높은 부하를 보인 인자가 주된 요인으로 추출되어 유입지천의 영향이 잘 반영되었다. 본 연구는 조사지점에 대한 유입하천의 특성을 고려한 요인분석으로서 계절적인 영향을 포함시킨다면 더욱 복잡한 양상을 보일 것으로 생각되지만 평균 수질로 볼 때, 천안천과 온천천의 오염 수준은 다른 하천과는 매우 상이한 수질을 보임으로서 이에 대한 대책 마련이 시급한 것으로 판단된다.

Table 3. Factor loadings of factor 1 at S1, S2 and S3

Water quality variable	S1	S2	S3
DO		0.75737	-0.76415
BOD	0.73356		
COD	0.84773		
SC	0.59272	0.64048	
TN			-0.57161
TP	0.73557		
TC			0.68228
TSS		-0.80375	0.80447

Table 4. Factor loadings of factor 1 at M1, M2, M3, M4 and M5

Water quality variable	M1	M2	M3	M4	M5
DO	-0.67869		-0.78791	-0.78787	-0.78787
BOD					
COD	0.77033	0.74925	0.64728	0.73829	0.73829
SC					
TN					
TP					
TC	0.75409				
TSS		0.82688	0.74794	0.74215	0.74215

Table 5. Factor loadings of factor 1 at M23, K22, K21, K24, K25, K11, K31 and K12

Water quality variable	K23	K22	K21	K24	K25	K11	K31	K12
DO							-0.66527	
BOD	0.75505	0.81844		0.86710	0.76207	0.78190	0.80526	0.65046
COD	0.87329	0.78909		0.85231	0.85447	0.84542		
SC	0.73682	0.72567	0.57199	0.67546	0.61085			0.83873
TN	0.82176	0.86444	0.64159		0.76667			
TP	0.69566	0.70166	0.78707		0.69895			0.85057
TC								
TSS						0.62524	0.84219	

Table 6. Factor loadings of factor 1 at R1, R2 and R3

Water quality variable	R1	R2	R3
DO		0.70408	0.81232
BOD	0.70150		
COD	0.81258		
SC		0.82435	0.80332
TN		0.69199	0.64343
TP	0.63236		
TC			
TSS	0.59899		

#### 4. 결론

삼교호유역 19곳의 수질관측 지점의 수질특성에 따른 군집화 경향을 알아보기 위하여 군집분석을 실시하였고, 서로 다른 군집으로 분류된 수질관측지점들에 대한 요인분석을 실시하여 각기 서로 다른 수질특성을 보이는 요인을 알아보았다. 군집분석 결과에 의하면 삼교호 유역에서 수질 자료를 분석한 결과 오염도에 따른 특성이 있음을 알 수 있었다. 군집분석한 결과 삼교호 유역의 수질은 삼교호, 삼교천, 무한천 및 곡교천의 4개 그룹으로 나눌 수가 있었다. 삼교호 유역에서 수질의 오염도를 평가한 결과 곡교천의 수질이 가장 악화되어 있고 그 다음으로 삼교천, 삼교호 그리고 무한천의 순으로 나타났다. 또한, 무한천 (M1~M4)과 곡교천 (K11)의 상류는 매우 청정한 수질을 유지하여 도시와 공단에 인접한 천안천과 온천천의 수질과는 크게 대비되었다.

요인분석결과 삼교천의 경우, 상류 수질은 생화학적

산소요구량, 화학적산소요구량 등의 유기물 요인이, 하류에서는 부유물질과 분변성 대장균요인이 높은 비중을 차지하였다. 무한천의 경우, 화학적산소요구량과 신대교 지점을 제외한 다른 지점에서 부유물질이 공통적인 제 1요인으로 추출되었다. 이것은 하류로 유하하면서 농경지와 주거지로부터 비롯되는 탁수와 농촌 생활하수의 영향이 컸던 것으로 추정되었다. 곡교천의 경우 천안천이 유입되는 중상류부와 하·폐수종말처리장에서 처리수가 배출되는 직후 지점과 상이한 수질양상을 보여주었다. 또한, 삼교호는 삼교천과 무한천 그리고 곡교천에서 높은 부하를 보인 인자가 주된 요인으로 추출되어 유입지점의 영향이 잘 반영되었다. 본 연구는 조사지점에 대한 유입하천의 특성을 고려한 요인분석으로서 계절적인 영향을 포함시킨다면 더욱 복잡한 양상을 보일 것으로 생각되지만 평균 수질로 볼 때, 천안천과 온천천의 오염 수준은 다른 하천과는 매우 상이한 수질을 보임으로서 이에 대한 대책 마련이 시급한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2000년도 청운대학교 학술연구조성비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- 금강환경관리청 (1997). 금강중권역 수질오염원 현황.
- 신재기 (1998). 낙동강 부영양화에 따른 담수조류의 생태학적 연구. 박사학위논문, 인제대학교, pp.202
- 신재기, 조주래, 황순진, 조경제 (2000). “경안천~팔당호의 부영양화와 수질오염 특성.” 한국육수학회지, 한국육수학회, 제33권, pp. 387~394.
- 신재기, 박경미, 황순진, 조경제 (2001). “경안천과 팔당호에서 총세균수의 분포 및 동태.” 한국육수학회지, 한국육수학회, 제34권, pp. 119~125.
- 윤양호, 박종식 (2000). “주성분분석에 의한 거담수도의 수질환경 및 식물플랑크톤 변동요인 해석.” 한국환경과학회지, 한국환경과학회, 제9권, 제1호, pp. 1~11.
- 이종남, 박연규, 최철만 (1998). “밀양강의 식물플랑크톤상.” 한국환경과학회지, 한국환경과학회, 제7권, 제5호, pp. 607~613.
- 임창수 (1999). “금강유역 14개 관측점의 수질자료를 이용한 수질의 다변량분석.” 한국환경과학회지, 한국환경과학회, 제8권, 제3호, pp. 331~336.
- 임창수, 신재기, 조경제 (2000). “금강 중하류에서 오염양상과 수질평가.” 한국육수학회지, 한국육수학회, 제33권, pp. 51~60.
- 환경부 (2000a). 수질측정망 운영계획.
- 환경부 (2000b). 2000년 하수종말처리장 운영현황. pp. 16
- 황병기, 이상호 (2000). “천안/아산군역내 곡교천의 수질분석 및 지리정보체계를 이용한 유역 오염원 관리방안에 관한 연구.” 한국환경과학회지, 한국환경과학회, 제9권, pp. 443~447.
- 홍순우, 하영철, 안태섭 (1986). 진해만의 수질과 생태계에 관한 요인분석에 대하여. 생명과학연구보고서, 강원대학교, pp. 15~23.
- Barlett, M.S. (1938). “Further aspects of the theory of multiple regression.” *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, Vol. 34, pp. 33~40.
- Forsberg, C. and Ryding, S.O. (1980). “Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes.” *Archiv Fur Hydrobiologie*, Vol. 89, pp. 189~207.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., and Grabrowsky, B.J. (1979). *Multivariate data analysis*, Petroleum Publishing Co., Tulsa, Oklahoma, pp. 234~235.
- Johnson, R.A. and Wichern, D.W. (1988). *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Krzanowski, W.J. (1988). *Principles of Multivariate Analysis*, Oxford Science Publications Inc.
- Lee, M.K., Hwang, J.H., Choi, Y.K. (1996). “Water quality evaluation on the bottom water of Masan bay by multivariate analysis.” *J. of Korean Env. Sci. Soc.*, Vol. 5, No. 1, pp. 15~23.
- OECD (1982). *Eutrophication of waters: Monitoring, assessment and control*. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France. 154pp.
- Rim, C.S. (1998). “Characterization of water quality in Kansas river using multivariate analysis,” *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 2, No. 2, 153-162.

(논문번호:01-062;집수:2001.08.17/심사완료:2002.02.22)