

금강유역 14개 관측점의 수질자료를 이용한 수질의 다변량분석

임 창 수
청운대학교 토목환경공학과
(1999년 3월 10일 접수)

Multivariate Analysis of Water Quality Data at 14 Stations in the Geum-River Watershed

Chang-Soo Rim

Dept. of Civil and Environmental Engineering, Chungwoon University
(Manuscript received 10 March, 1999)

The monthly water quality data measured at 14 stations located in the Geum-River watershed were clustered into 2 to 7 clusters. Furthermore, factor analyses were conducted on Gabcheon and Yugucheon to characterize the water quality, based on the information obtained from the results of cluster analysis. The results of cluster analysis show that the water quality characteristic of main stream of the Geum-River is somewhat different from that of substream of the Geum-River. Furthermore, the water quality characteristic of Gabcheon which is expected to have the most serious water quality problems in the Geum-River watershed shows the most different water quality characteristic from Yugucheon. Based on the factor loadings in each factor, Gabcheon and Yugucheon have their own water quality characteristics. This is mainly because of composite factors such as different population density, industrial activities, and land use conditions in Gabcheon and Yugucheon subwatersheds.

Key words : Geum-River water quality, cluster analysis, factor analysis

1. 서 론

인구의 증가와 각종 산업의 발달로 인하여 하수와 산업폐수가 다량으로 도시유역하천으로부터 유입되고, 또한 농경지나 산지 등으로부터 오염물질이 하천으로 유입되어 하천의 자정능력범위를 초과하게 되면, 수질의 오염도가 증가하게 된다. 이와 같이 각 지류로부터 하천본류로 유입되는 오염물질은 지류유역의 특성 즉 토지이용조건, 인구밀도 및 산업조건 등에 따라 상이하게 다르다. 따라서 여러 지류 및 본류지점에 위치한 수질관측 지점으로부터 측정되어진 수질자료들을 이용하여 다변량 수질분석을 실시함으로써 전반적인 각 수질관측 지점간의 수질특성을 파악할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 첫번째로 금강 대청댐 하류구간의 주요 본류 및 지류에 위치한 14곳의 수질관측지점의 수질변수를 이용한 군집분석을 실시하여 서로 비슷한 수질특성을 가지고 있는 관측지점을 몇 개의 군집으로 군집화하였다. 또한 서로 다른 군집으로 분류된 수질관측지점들에 대한 요인분석¹⁾을 실시하여 각기 서로 다른 수질특성을 보이는 요인을 알아보았다. 따라서 본 연구의 결과는 금강 대청댐 하류 지점에 위치한 기존의 수질관측 지점간의 수질특성 연구에 기초자료로 활용될 수 있을 것

이다.

2. 조사방법

2.1. 조사지점

본 연구를 위하여 선정된 지역은 대청댐으로부터 금강하구둑까지로서, 유로연장은 약 150 km 정도이고, 면적은 약 5,710 km²이다. 이는 전체 금강유역의 58% 정도에 해당한다. 금강하류수역은 하천지형학적으로 완만한 하천 경사를 지니고, 상류지역에 비하여 넓은 하폭과 비사행적인 특성을 지닌다. 주요지류로는 상류로부터 갑천, 미호천, 유구천, 지천, 논산천 등이 있으며 가장 큰 유역면적을 가진 하천은 미호천으로서 유역면적은 약 1,860 km² 정도이다. 지류별 유역특성으로는 갑천과 미호천이 대전시와 청주시를 관통하여 흐르는 도시유역의 특성을 지니고 있으며, 이 두 유역으로부터 유입량이 대청댐 하류의 수질악화에 중요한 요인중의 하나로 여겨지며, 논산천을 제외한 다른 지류유역들은 전형적인 농촌유역의 특성을 지니고 있다.²⁾ 연구결과에 의하면 도시유역과 농촌유역 사이에는 서로 다른 수질특성이 존재하는 것으로 사료되며, 또한 본류와 지류 사이에도 서로 다른 수질특성이 있음을 보여주었다.

2.2. 수질자료

본 연구를 위하여 사용되어진 수질자료는 환경부³⁾에서 관리하는 수질관측점의 월별 수질자료로서 대청댐 하류 유역의 본류 및 지류에 위치한 수질관측 지점의 월별 자료를 이용하였으며 자료의 기간은 1994년 1월부터 1998년 1월까지이다. 선택되어진 금강 대청댐하류의 14 곳의 수질 관측 지점들(현도, 부강, 금남, 진두, 규암, 반조원, 강경, 갑천, 미호천, 유구천, 지천, 금천, nonsan천, 길산천)은 Fig. 1에 나타나 있다.

분석에 이용된 수질자료는 8개의 기초 수질자료로서 즉, 용존산소, 생물화학적산소요구량, 화학적산소요구량, 부유물질, 총대장균수, 총질소, 총인, 전기전도도이다.

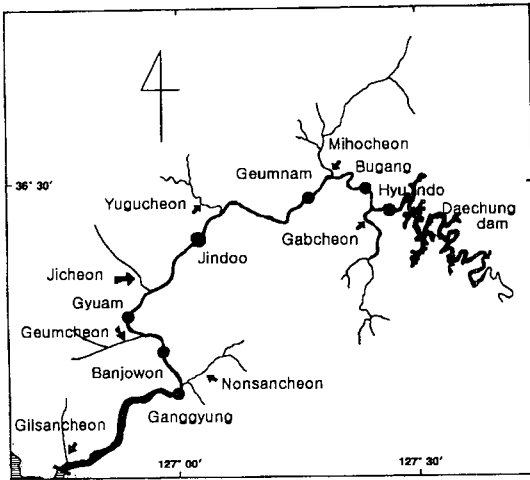


Fig. 1. Sampling stations in the downstream of Geum-river from Daechung dam.

2.3. 군집분석

본 연구에서는 금강 대청댐 하류구간의 주요 분류 및 지류관측지점에서의 수질변수를 이용한 군집분석⁴⁾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 동일한 집단으로 편입시키게 된다. 따라서 수질자료를 이용한 군집분석은 대상들이 지니고 있는 다양한 수질특성의 유사성을 바탕으로 동질적인 수질관측점으로 묶어주게 되며, 다수의 수질관측점을 몇 개의 동질적인 관측점으로 군집화함으로써 동일군집내에 속해있는 관측점의 수질특성을 조사하기 위한 목적으로 이용된다.

이번 연구에서 분류의 대상은 금강유역 대청댐하류의 본류 및 지류에 위치한 14곳의 서로 다른 수질관측지점이며, 분류를 위하여 각 수질관측지점에서 관측되어진 수질자료의 평균값을 이용하였다. 14개의 수질관측 지점을 군집화하기 위하여 적용되어진 방법은 single -

linkage agglomeration hierarchical 방법⁵⁾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 제공하여 합산한 거리, 다차원공간에서 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

군집분석 결과에 의하면 갑천과 유구천이 가장 다른 수질특성을 보여주고 있었으며, 이 두 하천(갑천, 유구천)의 수질특성을 알아보기 위하여 요인분석을 실시하였다. 요인분석은 변수들 간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 변수들끼리 묶어주는 방법이다.⁴⁾

요인모델은 벡터 $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)'$ 가 벡터 무작위변수인 common factor라 불리는 $F = (f_1, f_2, \dots, f_m)'$ 와 vector random error 또는 specific factor라 불리는 $U = (u_1, u_2, \dots, u_p)'$ 와의 선형조합이라는 가정에 근거한다. 특히 행렬로서 기본모델은 다음 식과 같이 표현되어진다.⁵⁾

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

여기서

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_p]'$$

$$C = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_p]'$$

$$F = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_m]'$$

$$U = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_p]'$$

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

그리고 []'는 괄호안 변수 값의 전환을 나타낸다. 식(2)에서 c_i 는 변수 x_i 의 평균값이며 x_i 의 관측값으로부터 산정되어진다. $(p \times m)$ 행렬 A 는 산정되어진 factor loading 행렬이다.⁶⁾ 또한 random vector F 와 U 에 대해서 다음과 같은 가정에 근거한다. 첫째, 행렬 X 는 평균이 C 이고 공분산 행렬 Σ 인 다변량 정규분포를 하는 random vector이다. 둘째, F 는 $E(F)=0$ 이고 그리고 $Cov(F)=E(FF')=I$ 인 random vector이다. 따라서 각각의 common factor f_1, f_2, \dots, f_m 은 평균이 0이고

분산이 1인 정규분포를 한다. 셋째, 행렬 U 는 $E(U) = 0$ 인 random vector이다. 즉

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

그리고 $u \sim N(0, q)$ 이며, q_i 는 i 번째 specific variance 이다. 네번째 가정으로는 F 와 U 가 독립적이다.

즉, $Cov(F, U) = E(UF') = 0$ 이다. 따라서 이러한 가정 들에 근거하여 공식(2)의 기대값은 다음 식(3)과 같이 표현된다.

$$E(X) = E(C + AF + U) = C + AE(F) + E(U) = C \quad (3)$$

공분산의 정의로부터 공분산 행렬(Σ)는 다음 식(4)로 표현되며

$$\Sigma = E\{(X - C)(X - C)'\} = AE(FF')A' + AE(FU') + E(UF')A' + E(UU') \quad (4)$$

여기서 F 와 U 는 평균 0을 가진 무상관의 무작위 벡터 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)과 식(7)로 표현되어진다.

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

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

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

각기 다른 수질관측점에서 측정된 수질변수들의 평균 값을 비교한 결과에 의하면 현도와 유구천 그리고 지천의 수질이 다른 지점과 비교하여 양호한 것으로 나타났으며, 갑천과 미호천의 경우에는 모든 수질 측정값들에 있어서 다른 수질관측점보다 좋지 않은 수질상태를 보여 주고 있다. 또한 모든 수질변수들에 있어서 지류의 평균 수치가 분류의 수치보다 큰 값을 보여주고 있다(Table 1).

특히 총대장균수의 경우 지류의 평균값은 49,746 MPN/100ml로서 분류평균수치 2,137 MPN/100ml 보다 아주 높은 값을 보여주었다. 용존산소의 경우 지천이 분류

보다 높은 용존산소의 수치를 보이고 있으며 그 이유는 갑천과 미호천을 제외한 대부분의 지류하천에서 높은 용존산소 수치를 보이고 있기 때문이다. 용존산소의 경우 전체 수질관측지점 중에서 지천이 10.91 mg/l로서 가장 높은 값을 보이고 있으며 갑천이 6.804 mg/l로서 가장 낮은 값을 보이고 있다. 또한 생물화학적산소요구량이나 화학적산소요구량 모두 갑천이 각각 10.333 mg/l와 11.506 mg/l로서 가장 높은 수치를 보이고 있으며 유구천이 각각 1.971 mg/l와 2.563 mg/l로서 가장 낮은 수치를 보이고 있다.

갑천과 미호천에서 총대장균수는 324,419 MPN/100ml와 14,946 MPN/100ml로서 다른 수질관측지점과 비교하여 비교적 큰 값의 총대장균수의 수치를 보여주고 있는데 이는 갑천과 미호천이 많은 인구가 거주하는 지역이기 때문으로 보인다. Wilhem 등⁷⁾에 의하면 총대장균수와 인구밀도와는 밀접한 상관 관계가 있음을 보고하였다. 또한, 길산천과 금천에서 각각 20.153 mg/l와 16.655 mg/l 정도의 많은 양의 부유물질이 유입되고 있는데 이는 여름 집중강우시에 유사와 함께 유입되는 비점오염원에 의한 것으로 사료된다. 현도와 부강 사이의 수질을 비교하였을 때 청원의 수질이 악화되어져 있는 것을 보이고 있으며 이는 갑천으로부터 오염원의 유입에 기인한 것으로 보인다.

Table 1. The average values of water quality variables in the sampling stations

| Sampling station | DO | BOD | COD | SS | TC | TN | TP | SC |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Hyundo | 8.984 | 1.282 | 2.882 | 4.643 | 58 | 1.880 | 0.078 | 127.4 |
| Bugang | 8.457 | 3.816 | 5.480 | 9.116 | 7095 | 4.261 | 0.185 | 265.0 |
| Geumnam | 8.271 | 3.886 | 6.247 | 12.541 | 3134 | 4.214 | 0.142 | 299.8 |
| Jindoo | 9.090 | 3.861 | 5.859 | 11.612 | 760 | 3.915 | 0.158 | 277.1 |
| Gyuam | 8.827 | 3.739 | 5.671 | 10.273 | 1088 | 3.898 | 0.163 | 272.7 |
| Banowon | 9.153 | 3.698 | 5.831 | 12.086 | 718 | 3.873 | 0.134 | 274.3 |
| Ganggyung | 8.878 | 3.918 | 6.553 | 13.769 | 2106 | 3.485 | 0.142 | 278.3 |
| Gabcheon | 6.804 | 10.333 | 11.506 | 14.953 | 324419 | 9.548 | 0.517 | 497.4 |
| Mihocheon | 7.631 | 5.345 | 8.169 | 16.159 | 14946 | 5.723 | 0.294 | 474.1 |
| Yugucheon | 10.245 | 1.971 | 2.563 | 3.871 | 656 | 1.947 | 0.044 | 164.6 |
| Jicheon | 10.910 | 2.571 | 2.996 | 4.739 | 457 | 2.048 | 0.069 | 187.1 |
| Geumcheon | 9.694 | 3.716 | 5.500 | 16.655 | 4225 | 2.463 | 0.101 | 229.1 |
| Nonsancheon | 9.155 | 2.010 | 3.422 | 8.061 | 729 | 2.549 | 0.094 | 198.6 |
| Gilsancheon | 9.753 | 4.618 | 6.606 | 20.153 | 2793 | 2.319 | 0.116 | 274.5 |

DO : Dissolved Oxygen (mg/l)
 BOD : Biochemical Oxygen Demand (mg/l)
 COD : Chemical Oxygen Demand (mg/l)
 SS : Suspended Solid (mg/l)
 TC : Total Coliform (MPN/100ml)
 TN : Total Nitrogen (mg/l)
 TP : Total Phosphorus (mg/l)
 SC : Specific Conductance (micromhos/cm)

Table 2. The Euclidean distance matrix of 14 sampling stations using monthly water quality data

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 2.769 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 3.315 | 0.935 | | | | | | | | | | | |
| 4 | 2.938 | 0.872 | 0.883 | | | | | | | | | | |
| 5 | 2.744 | 0.518 | 0.832 | 0.391 | | | | | | | | | |
| 6 | 2.895 | 1.039 | 0.933 | 0.246 | 0.548 | | | | | | | | |
| 7 | 3.235 | 1.256 | 0.774 | 0.622 | 0.858 | 0.580 | | | | | | | |
| 8 | 9.746 | 7.278 | 7.120 | 7.463 | 7.468 | 7.606 | 7.405 | | | | | | |
| 9 | 5.831 | 3.156 | 2.662 | 3.169 | 3.209 | 3.289 | 3.009 | 5.308 | | | | | |
| 10 | 1.359 | 3.173 | 3.698 | 3.087 | 3.005 | 3.018 | 3.463 | 10.008 | 6.139 | | | | |
| 11 | 2.045 | 3.256 | 3.750 | 3.014 | 3.012 | 2.949 | 3.407 | 9.865 | 6.049 | 0.807 | | | |
| 12 | 3.179 | 2.284 | 2.012 | 1.547 | 1.834 | 1.386 | 1.334 | 8.305 | 4.085 | 3.163 | 3.002 | | |
| 13 | 1.132 | 1.921 | 2.360 | 1.914 | 1.777 | 1.848 | 2.227 | 9.001 | 4.875 | 1.533 | 1.888 | 2.204 | |
| 14 | 4.205 | 2.881 | 2.368 | 2.105 | 2.444 | 1.991 | 1.705 | 7.963 | 3.774 | 4.158 | 3.914 | 1.060 | 3.214 |

- 1) Hyundo 2) Bugang 3) Geumnam 4) Jindoo
 5) Gyuam 6) Banjowon 7) Ganggyung 8) Gabcheon
 9) Mihocheon 10) Yugucheon 11) Gicheon
 12) Geumcheon 13) Nonsancheon 14) Gilsancheon

3.2. 수질관측지점의 군집화

Table 2는 SPSS를 운영하여 얻어진 14곳의 수질관측 지점간의 Euclidean distance 행렬을 보여주고 있으며, Fig. 2는 14곳의 수질관측 지점이 군집화되어가는 과정을 보여주고 있는 dendrogram이다. 진두와 반조원 간의 Euclidean distance(d_{kl})가 가장 작으며, 갑천과 유구천 사이의 Euclidean distance(d_{kl})가 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 14 곳의 수질관측지점 중에서 갑천과 유구천의 수질특성이 가장 다르며, 진두와 반조원 사이의 수질특성이 가장 유사하다는 것을 보여준다. 또한 대청댐하류 지역 중 오염부하량이 클 것으로 사료되는 갑천과 미호천은 유구천과 가장 다른 수질특성을 보여주고 있으며, 갑천의 수질과 다른 지점들의 수질과 비교하였을 때

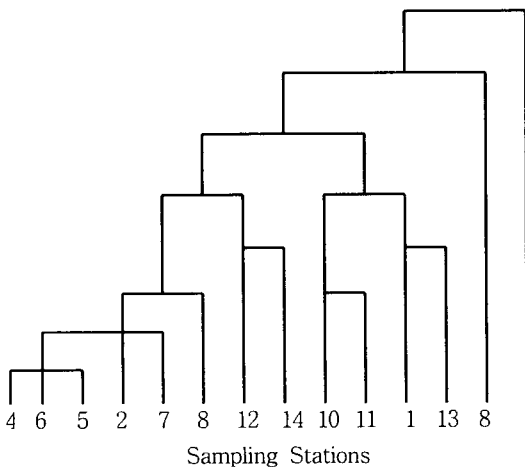


Fig. 2. The dendrogram showing the clustering process.

미호천의 수질이 가장 근사한 것으로 나타났다. 유구천과 다른 지점의 수질과 비교하였을 때는 지천의 수질이 가장 근사한 것으로 나타났다.

Table 3에서는 14곳의 수질관측 지점의 cluster membership을 보여주고 있다. 본 연구에서는 너무 세분하여 수질관측지점을 수질특성별로 분류하여 군집화하는 경우 군집 분석의 의미가 상실된다는 점을 고려하여 2~7개의 군집만을 제시하였다. 2개의 군집으로 분류하였을 경우에 갑천만이 다른 수질특성을 보였으며 3개의 군집으로 분류하였을 경우에는 갑천과 미호천이 그 외 12 수질관측지점의 수질과 상이한 특성을 보였다. 4개 이상의 수질특성 군집으로 분류하였을 경우에 금강분류에 위치한 수질관측지점 중 현도를 제외한 부강, 금남, 진두, 규암, 반조원 그리고 강경지점이 같은 수질특성으로 군집되어졌다. 이는 대청댐 직하류에 위치한 현도지점의 수질특성이 현도지점 하류에 위치한 다른 분류수질관측지점의 수질특성과 상이함을 보여주며, 이는 현도지점이 대청댐 직하류에 위치하며, 상류에 갑천이나 미호천과 같은 많은 오염원을 유출하는 지류유역이 존재하지 않기 때문으로 사료된다. 또한 7개의 군집으로 분류하였을 경우에도 현도와 갑천 미호천, nonsancheon은 다른 지점의 수질과 다른 특성을 보였으며, 유구천과 지천이 같은 수질특성을 보였고, 금천과 길산천 역시 같은 수질특성을 보여주었다. 실험구간에서의 전반적인 수질특성을 검토한 바에 의하면, 금강분류와 지류 사이에는 서로 다른 수질특성을 보이고 있음을 알 수 있었다.

3.3. 군집분석 결과에 따른 요인분석

군집분석 결과에 의하면 갑천과 유구천이 가장 다른 수질특성을 보여주었다. 따라서 이 두 하천(갑천, 유구천)의 수질특성을 알아보기 위하여 요인분석을 실시하였

Table 3. Cluster membership between water quality sampling stations

| Sampling station | Number of Clusters | | | | | |
|------------------|--------------------|---|---|---|---|---|
| | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| Hyundo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Bugang | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Geumnam | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Jindoo | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Gyuam | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Banjowon | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Ganggyung | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Gabcheon | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| Mihocheon | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| Yugucheon | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| Jicheon | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| Geumcheon | 6 | 6 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Nonsancheon | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Gilsancheon | 6 | 6 | 2 | 2 | 1 | 1 |

다. 수질자료를 이용한 요인분석을 수행하기 위하여 필요한 가정인 자료의 정규분포성을 만족시키기 위하여 자료의 로그변형을 수행하였다(Table 4). 두 하천에서의 수질변수의 기본적인 통계자료를 조사한 결과 자료가 대체로 양의 왜곡도를 보여주고 있었다.

Table 4. The skewness coefficients of water quality variables used for factor analysis on Gabcheon and Yugucheon

| Sampling station | DO (mg/l) | BOD (mg/l) | COD (mg/l) | SS (mg/l) | TC (MPN/100m) | TN (mg/l) | TP (mg/l) | SC (micrombus/cm) |
|------------------|-----------|------------|------------|-----------|---------------|-----------|-----------|-------------------|
| Gabcheon | 0.034 | -0.190 | -0.093 | -0.003 | -0.849 | 0.153 | -0.413 | -0.046 |
| Yugucheon | 0.169 | 0.088 | -0.020 | -0.134 | 0.404 | -0.433 | 0.693 | -0.159 |

갑천유역은 인구 약 126만 명중 약 125만 명이 도시에 거주하고, 면적이 약 652 km² 정도인 도시유역이며, 유구천유역은 인구 약 2만 6천 명중 약 만 7천명이 농촌에 거주하고 있는 면적이 약 340 km²인 농촌유역이다. 따라서, 갑천과 유구천의 수질자료를 이용하여 각기 다른 하천의 수질특성을 알아보기 위한 요인분석을 실시하였다.

Table 5와 Table 6은 갑천과 유구천에서의 세 다른 요인에 대한 각각의 요인적재량(factor loadings)과 공통성(communality) 그리고 아이겐 값(eigen value)을 보여주고 있다. 아이겐 값은 특정요인에 적재된 모든 변수의 적재량을 제곱하여 합한 값이며, 이는 특정요인이 설명해주는 총분산을 의미한다. 이 값이 클수록 해당 요인의 설명력이 큰 것이다.

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 ±0.3 이상이면 적재량의 유의성이 있다고 할 수 있으며, 보수적인 기준으로는 ±0.4 이상으로 잡는 경우도 있다. ±0.5 이상이면 매우 높은 적재량이라고 할 수 있다. 그러나 적재량의 유의도는 표본의 수, 요인의 수에 따라 변동하게 되므로 이에 대해서는 Hair 등³⁾에 의해서 언급되어있다.

Communality는 각 수질변수의 모든 요인적재량을 제곱하여 합산한 값으로 이는 분석결과 추출된 요인들에 의해서 설명되는 수질변수의 분산으로 3개 다른 요인에 의해서 해당 수질변수의 분산이 어느 정도 설명되는가를 나타내 주는 것이다.

갑천과 유구천에서의 각 요인에 대한 요인 적재량을 검토한 결과에 의하면, 두 유역 사이에는 각각의 수질관측점 특성에 따른 나름대로의 수질특성을 보이고 있었다. 두 수질관측점에서의 전반적인 수질상태는 군집분석에 의한 결과와 14곳의 수질관측지점에서의 평균수질값을 비교한 결과에 의하면 갑천의 수질이 가장 나쁜 상태이고 유구천이 가장 양호한 수질을 보이고 있는 것으로 사료된다. 갑천에서는 화학적산소요구량, 전기전도도 그

리고 생물화학적산소요구량이 첫번째 요인에 포함되어져 있는 데 이것은 산업폐수나 도시지역생활하수에 기인한 것으로 보이며, 전기전도도와 높은 상관을 보임으로서 수중에 용해된 물질과 연관되어져 있는 것으로 사료된다. 두번째 요인으로 총대장균군수, 총인, 총질소가 묶여져 있는 데, 이 세 수질변수는 갑천이 많은 인구를 포함하고 있는 도시유역하천이라는 것을 감안할 때 주로 생활하수에 의한 수질오염요인에 기인하는 것으로 사료된다. 따라서, 도시유역으로부터의 오염원의 효과적 저감을 위해서는 도시생활하수 및 산업폐수의 효과적 처리가 필수적이라 할 수 있다. 세번째 요인으로서 부유물질과 용존산소가 서로 높은 상관을 보이고 있는 데, 이는 강우 발생시 도시유역으로부터 하천으로 유입된 부유물질과 그에 따른 수중의 용존산소의 변화에 관련되어져 있는 것으로 사료된다.

Table 5. Factor loadings and communality at Gabcheon

| Water quality variable | FACTOR 1 | FACTOR 2 | FACTOR 3 | COMMUNALITY |
|------------------------|----------|----------|----------|-------------|
| COD | 0.87806 | 0.11649 | 0.25146 | 0.84779 |
| SC | 0.81475 | -0.02256 | -0.24236 | 0.72307 |
| BOD | 0.79698 | 0.28677 | 0.19944 | 0.75719 |
| TC | -0.18843 | 0.93502 | 0.02890 | 0.91060 |
| TP | 0.29860 | 0.87984 | -0.11079 | 0.87555 |
| TN | 0.53690 | 0.75990 | -0.08813 | 0.87347 |
| SS | -0.13637 | -0.00469 | 0.83103 | 0.70924 |
| DO | -0.36002 | 0.11610 | -0.69323 | 0.62366 |
| Eigen value | 3.268 | 1.830 | 1.221 | |

Table 6. Factor loadings and communality at Yugucheon

| Water quality variable | FACTOR 1 | FACTOR 2 | FACTOR 3 | COMMUNALITY |
|------------------------|----------|----------|----------|-------------|
| TP | 0.89719 | 0.01253 | -0.12700 | 0.82123 |
| COD | 0.80194 | 0.05048 | -0.02256 | 0.64617 |
| SS | 0.79206 | -0.32949 | 0.12405 | 0.75131 |
| SC | -0.63184 | -0.12975 | 0.42803 | 0.59926 |
| DO | -0.65550 | 0.36950 | -0.31578 | 0.66592 |
| TN | 0.13568 | 0.85825 | -0.01942 | 0.75539 |
| BOD | -0.23271 | 0.74760 | -0.07194 | 0.61824 |
| TC | -0.00635 | -0.04215 | 0.94069 | 0.88671 |
| Eigen value | 3.095 | 1.682 | 0.966 | |

유구천의 경우에는 첫번째 요인에 총인, 화학적산소요구량, 부유물질과 전기전도도, 용존산소가 포함되어져 있어, 강우에 따른 농촌유역으로부터의 유사의 유입과 총인의 유입 그리고 그에 따른 용존산소의 변화요인을 가지고 있는 것으로 사료된다. 두번째 요인으로는 총질소

와 생물화학적산소요구량이 포함되어져 있는 데, 이는 하천의 질소화합물의 산화분해과정 요인으로 고려되며, 세번째 요인인 대장균균수는 유구천에서 주로 생활하수와 가축으로부터 배출되는 각종 분뇨에 의한 수질오염인인 것으로 사료된다.

4. 결 론

금강 대청댐하류 14곳의 수질관측 지점의 수질특성에 따른 군집화 경향을 알아보기 위하여 군집분석을 실시하였다. 군집분석 결과에 의하면 갑천과 유구천이 가장 다른 수질특성을 보였다. 따라서 이 두 하천(갑천, 유구천)의 수질특성을 알아보기 위하여 요인분석을 실시하였다.

대상지역에서의 전반적인 수질특성을 검토한 바에 의하면, 금강본류와 지류 사이에는 서로 다른 수질특성을 보이고 있음을 알 수 있었다. 금강 본류에 위치한 수질관측점들 사이에는 현도를 제외하고는 유사한 수질특성을 보였다. 현도지점이 양호한 수질을 보이고 있는 이유는 대청댐 직하류에 위치하며, 상류에 갑천이나 미호천과 같은 많은 오염원을 유출하는 지류유역이 존재하지 않기 때문으로 사료된다.

분석결과에 의하면 지류 수질관측점들 간에는 갑천과 미호천에서 유사한 수질특성을 보이고 있다. 또한 14곳의 수질관측점 중에서 갑천과 유구천의 수질특성이 가장 다른 것으로 나타났다. 두 수질관측점에서의 전반적인 수질상태는 군집분석에 의한 결과와 14곳의 수질관측지점에서의 평균수질값을 비교한 결과에 의하면 갑천의 수질이 가장 나쁜 상태이고 유구천이 가장 양호한 수질을 보이고 있는 것으로 사료된다.

갑천과 유구천에서의 각 요인에 대한 요인적재량을 검토한 결과에 의하면, 갑천에서의 수질특성은 갑천이 많은 인구를 포함하고 있는 도시유역하천이라는 것을 감안할 때 주로 산업폐수나 도시지역생활하수 등에 기인한 수질오염물질의 유입에 따른 것으로 판단되며, 유구천의 경우에는 농촌지역으로부터의 유사의 유입과 총인의 유입 그리고 생활하수와 가축으로부터 배출되는 각종 분뇨에 의한 수질오염요인인 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Anderson, T. W., 1986. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, West Publishing Company, New York.
- 2) 금강환경관리청, 1997. 금강중권역 수질오염원 현황.
- 3) 환경부, 1997. 수질측정망 운영계획.
- 4) Johnson, R. A. and D. W. Wichern, 1988. Applied Multivariate Statistical Analysis, 2nd ed., Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- 5) Barlett, M. S., 1938. "Further aspects of the theory of multiple regression." Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Vol. 34, 33-40.
- 6) Krzanowski, W. J., 1988. Principles of Multivariate Analysis, Oxford Science Publications Inc.
- 7) Wilhelm, L. G., B. Glenne, and D. W. Eckhoff, 1974. "Stream pollution in Wasatch Canyons." University of Utah, Salt Lake City, UT.
- 8) Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham, and B. J. Grabrowsky, 1979. Multivariate data analysis, Petroleum Publishing Co., Tulsa, Oklahoma, 234-235.