

통계분석 기법을 이용한 錦江水系의 水質評價

김종구
군산대학교 토목환경공학부
(2002년 9월 30일 접수; 2002년 12월 10일 채택)

Evaluation of Water Quality in the Keum River using Statistics Analysis

Jong-Gu Kim

School of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea
(Manuscript received 30 September, 2002; accepted 10 December, 2002)

This study was conducted to evaluate water quality in the Keum River using multivariate analysis. The analysis data in Keum river made use of surveyed data by the ministry of environment from January 1994 to December 2001. Thirteen water quality parameter were determined on each sample.

The results was summarized as follow; Water quality in the Keum River could be explained up to 71.39% by four factors which were included in loading of organic matter and nutrients by the tributaries (32.88%), seasonal variation (16.09%), loading of pathogenic bacteria by domestic sewage of Gapcheon (13.39%) and internal metabolism in estuary as lakes(9.03%).

For spatial variation of factor score, four group was classified by each factor characterization. Station 1 and 2 was influenced by Daechung dam, station 3 was affected by domestic sewage of Gapcheon, station 10~12 was affected by estuary dyke and the rest station.

The result of cluster analysis by station was classified into four group that has different water quality characteristics. In monthly cluster analysis, three group was classified according to seasonal characteristic. Also, in yearly cluster analysis, three group was classified.

It is necessary to control the pollutant loadings by Gapcheon inflow domestic sewage in Daejeon city for the sake of water quality management of Keum river.

Key words : Keum river, Multivariate analysis, Cluster analysis, Factor loading, Factor score

1. 서론

금강은 전라북도 장수군 장수읍 용연리 신무산에서 발원하여 대청댐을 거쳐 대전, 공주, 부여 등의 중소도시를 통과하여, 군산과 장항 사이에 위치한 하구를 통하여 서해안으로 흐르는 유로 연장 412 Km, 유역면적 9,886 km²에 이르는 남한 제3의 하천이다¹⁾.

금강은 타 하천에 비하여 오염원이 적은 수계로써 수량과 수질 면에서 안정적인 편이었으나, 최근

중부권의 급속한 발전에 따른 용수수요의 증가 및 오염부하량의 증가로 인하여 수량확보 및 수질관리 에 있어 문제가 대두되고 있다. 특히 금강 상류의 용담댐의 건설 및 금강 하구언의 수문가동에 따라 금강의 수량과 수질에 큰 변화가 일어나고 있다²⁾.

지형적으로 대청댐 이하의 금강 중·하류부는 경사가 낮아 유속이 지체되면서 수질이 저하되고 있다. 금강으로 유입되는 지천은 50여 개에 이르고 있으며 금강에 설치된 환경기초시설은 하수종말처리장과 분뇨처리장을 비롯하여 75개가 설치 운영 중에 있다. 금강수계에 직접적인 영향을 주고 있는 대전시 하수가 유입되는 갑천과 청주시와 조치원에서 배출되는 도시하수가 미호천을 통하여 유입되고

Corresponding Author : Jong-Gu Kim, School of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea
Phone : +82-63-469-1874
E-mail : kjg466@kunsan.ac.kr

있다. 또한 공주, 부여, 강경과 같은 중소도시에서 배출되는 생활하수와 주변 공단에서 배출되는 폐수의 영향을 직접 받고 있다. 이로 인한 금강수계의 수질이 악화되어 유기물오염 및 부영양화 단계로 진행되고 있어 종합적인 수질관리 대책수립이 시급한 실정이다.

하천 수질은 지천을 통한 오염부하, 하천의 수리·수문학적 특성, 퇴적물의 오염상태, 내부 물질대사의 정도, 기후의 변동 등이 상호 작용하여 나타나기 때문에 수질의 정확한 변동 특성 및 평가를 내리는데 어려움이 있으며, 이들 수질은 지점별, 계절별, 연도별로 변동하는 특성을 가진다.

따라서 하천수계의 환경관리를 위해서는 장기적이고 체계적인 조사와 아울러 그 해역에 미치는 환경적 변수의 정확한 도출 및 상호영향의 평가를 통한 체계적인 관리가 중요하다고 하겠다.

다변량분석은 일반적으로 연구대상으로부터 측정된 2개 이상의 변수들의 관계를 동시에 분석할 수 있는 모든 통계적인 기법을 말하는 것으로, 요인분석, 회귀분석, 다변량 분산분석, 판별분석, 군집분석 등 여러 가지의 기법이 있다. 이들 중 여러 변수의 상관관계를 기초로 하여 정보의 손실을 최소화하면서 변수의 개수를 보다 적은 수의 요인으로 자료변동을 설명하는 기법인 요인분석을 통하여 해석하고자 한다.

요인분석은 자원생태분석이나 대기오염 현상해석에 많이 적용되어온 방법으로 여러 항목이 복잡하게 연관되어 있어 직접적인 해석이 어려운 항목간의 관계를 보다 간결하게 묶음으로서 그 특징을 쉽게 해석하고 평가하는데 있다.

이러한 통계분석기법의 수질평가에 적용한 예를 보면, 일본에서는 하천 수질오탁 평가에 이용³⁾한 이후 해양에 적용되어 해양특성 및 수질평가, 해양해석, 적조도 조사, 적조예측 등의 많은 분야에 이용되어져 왔다²⁻⁹⁾. 미국에서 플로리다만의 수질특성 평가를 위하여 다변량해석을 적용¹⁰⁾한 연구가 있으며, 국내에서의 연구는 요인분석을 통한 진해만의 수질 및 생태계 변화요인 평가¹¹⁾, 주성분분석법을 통한 인천연안의 수질평가¹²⁾, 다변량해석을 통한 마산만 저층수의 수질평가¹³⁾와 주성분분석법에 의한 낙동강 하구해역의 수질평가¹⁴⁾, 금강하구역의 수질평가¹⁵⁾ 및 다변량해석에 의한 낙동강 하구해역의 평가¹⁶⁾ 등 많은 연구가 수행되었다.

이와 같이 다변량해석은 복잡한 수질의 특성을 가지는 수계에 대한 수질 결정요인을 해석하고 평가하는데 유용한 방법이라 할 수 있다.

본 연구는 금강수계의 중하류부에 속하는 대청댐

에서 금강하구둑 구간에 대한 환경부 수질측정망의 수질관측 자료를 바탕으로 수질의 변동특성을 조사하고, 종합적인 수질평가를 위하여 다변량 해석기법중 주성분분석(Factor analysis) 및 군집분석(Cluster analysis)을 적용하여 수계의 수질결정인자를 도출하고 시·공간적인 특성에 따른 수질을 결정하는 주요인을 조사하여 수질관리를 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상유역 및 자료도출

대청댐을 기점으로 금강하구둑까지 금강 중하류역에 해당되는 유역을 연구대상으로 하여 환경부에서 조사된 관측자료를 이용하여 수질특성 및 주성분분석을 통한 수질해석 및 평가에 적용해 보았다.

금강수계 수질자료는 대청댐에서 금강하구둑 수문까지 총 12개 정점을 대상으로 1994년 1월부터 2001년 12월까지 월별로 관측된 환경부 산하 금강환경관리청에서 운영하는 측정망 관측자료¹⁷⁾를 이용하였다. 자료는 환경부 인터넷 사이트의 정보공개요청에 의하여 획득하였고, 이들 자료 중에서 연도별, 지점별 측정된 자료수가 일치하는 항목에 대해서만 통계분석을 실시하였다.

측정망 관측지점은 총 12개 정점으로 대청댐 방류구 아래가 지점 1이고, 지점2와 3사이에는 대전시 하수가 유입되는 갑천이 위치하고 있으며, 지점3과 4 사이에는 상류 청주시의 무심천이 합류하여 유입되는 미호천이 유입된다. 지점5에는 공주가, 지점7에는 부여가 위치하고 있다. 그리고 금강하구둑의 영향을 받는 하구호 수질관측지점이 지점 10~13에 위치하고 있다(Fig. 1).

측정항목은 수온, 염분, pH, 용존산소(DO), 부유물질(SS), 전기전도도, 화학적 산소요구량(COD), 생물학적산소요구량(BOD), 대장균군(Coliform), 분변성 대장균군(Feacal coliform), 총질소(TN), 총인(TP), 질산질소(Nitrate), 암모니아질소(Ammonium), 인산인(Phosphate), Chlorophyll a 로써 총 15개 항목이 조사되었고, 이들 자료 중 통계분석에 이용된 자료는 13개 항목이다.

2.2. 주성분분석

최초 분석된 자료를 근간으로 전체변수 중 보다 간결하고 명료한 관계를 가지는 요인을 추출하기 위하여 각 변수간의 상관행렬을 이용해서 주 대각선상의 값을 변형시키지 않는 그대로 공통 분산치 1.0의 값을 추정값으로 하여 요인행렬을 추출하는 주 대각성분 요인 추출법을 이용하였다. 최초요인을 추출한 뒤 회전시키지 않는 요인행렬로부터 몇

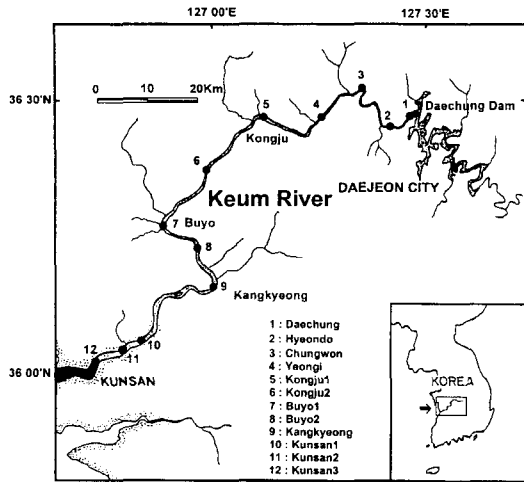


Fig. 1. Location of sampling stations in Keum river estuary.

개의 요인을 추출하기 위하여 고유치가 최소 1.0 이상이 되어야 한다는 기준으로부터 요인을 추출하였다.

요인이 해당되는 변수를 설명해 주는 의미를 가진 요인부하량을 산출한다. 그리고 여러 요인이 비슷한 요인부하량을 나타낼 경우 변수들이 어떤 요인에 높게 작용하는지를 알아보기 위하여 요인축을 회전시킨다. 요인의 회전을 통하여 변수와 요인사이의 관계를 더욱 명확히 하여 변수와 요인과의 해석을 보다 쉽게 판단할 수 있다. 요인회전 방법은 여러 종류가 있으나 직각회전방식중에서 각 요인은 다른 요인과 상호 독립적이면서 하나의 요인에 높게 적재되는 변수의 수를 줄여서 요인을 해석하는데 중점을 주어 각 변수들의 분산구조보다 각 요인의 특성을 알고자 할 때 유용한 Varimax 방식을 적용하였다.

추출된 요인은 각 조사지점별, 연도별, 계절별로 변수별 응답을 요인들의 선형결합으로 표현된 요인특점을 아래 식으로 계산한다.

$$F_{jk} = \sum_{i=1}^p W_{jk} Z_{jk}$$

여기서, F_{jk} 는 k지점별, 연도별, 월별 수질변수 j에 의한 요인특점, P는 수질변수의 수, Z_{jk} 는 표준화된 변수의 인자부하량, W_{jk} 는 각 변수에 주어지는 가중치를 의미한다. 가중치는 회귀법을 통하여 변수별로 서로 다른 가중치를 산출하여 적용하는 방법을 이용하였다.

2.3. 군집분석

군집분석은 n개의 객체들을 p개의 변수 각각에

대해 얻은 관찰크기가 자료행렬($n \times p$)로 주어졌을 때 각 객체의 관찰값에 대응되는 한 행벡터(row vector)는 p 차원 공간에서 한 개의 점으로 생각할 수 있다. 이 때 p 차원 공간에 n개의 점들이 전체 공간에 랜덤하게 흐트러져 있는지 혹은 조밀성을 이루고 있는지에 관한 정보를 가진다. 이는 다변량 자료에 대한 구조적 단순화라는 측면에서 중요한 의미를 가진다.

군집분석은 특성들의 유사성 즉, 특성자료가 얼마나 비슷한 값을 가지고 있는지를 거리로 환산하여 거리가 가까운 대상들을 동일집단으로 구분하여 전체 다변량자료의 구조를 파악하고, 군집의 형성 과정과 그 특성, 군집간의 관계를 분석하는 것이 목적이다.

군집분석은 단지 측정치의 차이를 이용하기 때문에 변수선정, 유사성 측정방법 및 군집화방법이 중요한 요소가 된다.

유사성 측정은 거리와 유사한 개념을 바탕으로 설명되는 근접성의 척도이다. 거리측정은 모든 변수의 차이를 제공하여 합산해서 결정하는 유클리디안 제곱거리(Squared Euclidean distance) 방법을 적용하였다.

$$d_{ij} = [(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2]^{1/2}$$

d_{ij} : 점 i와 점 j간의 거리

X_i, Y_i : i 번째 점의 좌표

X_j, Y_j : j 번째 점의 좌표

군집결합의 방법은 집단간의 평균결합을 나타내는 Between-groups linkage를 사용하였다. 이는 객체의 모든 쌍들 간 평균거리를 두 집단간의 거리로 정의하는 비가중치 쌍집단방식(UPGMA : unweighted pair-group method arithmetic average)이다.

본 연구에서는 주성분분석에서 얻어진 요인점수를 이용하여 각기 다른 환경인자의 영향을 받는 그룹인 조사지점, 연도, 월에 대한 수질환경 특성을 분석하였다.

주성분분석과 군집분석을 위한 통계처리는 SPSS for window release 8.0을 이용하여 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질특성 및 항목간의 상관분석

금강 중·하류역 수계에 대한 환경부 측정망 자료를 이용하여 1994년 1월부터 2001년 12월까지 월별로 관측된 13개 수질항목에 대한 자료의 지점별

평균농도를 Table 1에 나타내었다.

금강의 유기오염 정도를 나타내는 BOD 농도를 보면 대청댐 하류지점을 제외하고는 하천수질 환경기준 3급수의 수질을 보이고 있고, 특히 COD의 농도는 3급수를 초과하는 농도를 보여 유기오염의 정도가 심각함을 알 수 있다. 특히 대전시 생활하수가 유입되는 갑천의 영향을 받는 지점 3부터 높은 농도를 보이며 하류로 유하하는 동안 공주와 부여 등과 같은 중소도시에서 유입되는 생활하수의 영향으로 높은 농도를 나타내어 생활하수가 금강오염의 중요한 요소임을 알 수 있다. 또한 병원균성 오염의 지표인 대장균군과 분변성대장균군의 농도가 갑천이 합류된 후 100배 이상 높은 농도를 보여 금강을 상수원수로 이용하는 측면에서 위생적으로 많은 문제가 있음을 시사하고 있다. 조류성장에 필요한 영양염류와 관련 있는 인자의 경우에도 대부분 유기물변화와 유사한 경향을 나타내고 있었다. 특히

2001년 자료에서 금강하구둑의 영향을 받는 하구호 특성을 지닌 지점 10~12에서는 조류의 농도가 급격하게 증가하고 암모니아질소 및 인산인의 농도가 감소하는 특성을 보였다.

수질인자간의 관련성을 평가하기 위하여 13개 수질항목에 대한 단순상관분석을 실시한 결과를 Table 2에 나타내었다.

유기오염 지표인 BOD는 COD($r=0.750$), TN($r=0.565$), 전기전도도($r=0.575$)와 정(+)의 좋은 상관성을 보였으며, TN은 TP($r=0.576$), 전기전도도($r=0.648$), 질산질소($r=0.656$) 및 암모니아질소($r=0.807$)와 높은 정(+)의 상관성을 나타내었다.

3.2. 주성분분석

금강수계에서 1994년부터 2001년까지 8년간 총 13개의 수질항목을 대상으로 조사된 자료를 이용하여 주성분분석을 행한 결과 나타난 13개 요인의 고

Table 1. Mean values of water quality constituents during 1994~2001 in the Keum river

St.	Temp.	pH	DO	BOD	COD	SS	Coli.	F-Coli.	TN	TP	Cond.	NO ₃	NH ₃
1	16	7.7	9.4	1.2	3.1	4.8	6.6E+01	9.5E+00	1.604	0.029	119	1.289	0.075
2	15	7.4	9.4	1.2	2.9	5.5	6.9E+01	1.7E+01	1.862	0.049	122	1.429	0.144
3	15	7.4	8.8	3.2	5.2	12.4	8.1E+03	2.9E+03	4.202	0.159	254	2.312	1.532
4	15	7.4	8.7	3.6	5.9	16.4	3.7E+03	9.2E+02	4.363	0.143	289	2.588	1.313
5	15	7.5	9.1	3.4	5.8	14.3	1.9E+03	5.2E+02	4.091	0.148	266	2.377	1.280
6	16	7.6	9.3	3.6	5.6	16.1	1.5E+03	3.8E+02	3.967	0.127	263	2.541	0.957
7	16	7.5	9.1	3.3	5.6	15.2	1.4E+03	4.2E+02	3.927	0.130	259	2.424	1.059
8	16	7.6	9.3	3.5	5.7	17.7	1.1E+03	3.7E+02	3.899	0.112	259	2.519	0.905
9	16	7.8	9.2	4.0	6.6	15.5	4.2E+03	8.8E+02	3.770	0.121	266	2.318	1.011
10	16	8.0	9.4	3.3	6.7	17.3	3.1E+02	3.8E+01	3.246	0.082	381	2.113	0.595
11	16	8.1	9.4	3.3	6.5	15.9	4.9E+02	3.0E+01	3.292	0.077	365	2.114	0.599
12	16	8.1	9.4	3.4	6.6	18.7	3.4E+02	4.4E+01	3.221	0.077	370	2.164	0.618

Table 2. Correlation matrix among 13 variables

	Temp.	pH	DO	BOD	COD	SS	Coli.	F-Coli.	TN	TP	Cond.	NO ₃	NH ₃
TEMP	1.000												
PH	.005	1.000											
DO	-.731	.174	1.000										
BOD	-.042	.285	-.015	1.000									
COD	-.054	.311	-.018	.750	1.000								
SS	.219	.028	-.162	.191	.192	1.000							
COLI	.114	-.143	-.159	.038	.022	.213	1.000						
FCOLI	.035	-.105	-.119	.050	.026	.070	.533	1.000					
TN	-.371	-.024	.158	.565	.545	.002	.087	.099	1.000				
TP	-.128	-.173	-.052	.350	.346	.016	.157	.156	.576	1.000			
COND	-.314	.231	.211	.575	.621	.080	-.024	.014	.648	.377	1.000		
NO ₃	-.243	.008	.201	.416	.372	.041	-.018	-.016	.656	.283	.430	1.000	
NH ₃	-.463	-.107	.194	.399	.413	-.093	.111	.166	.807	.592	.556	.302	1.000

*) COLI : Coliform, FCOLI : Fecal coliform, COND : Conductivity

유치와 수질에 미치는 기여율을 Table 3 및 Fig. 2에 나타내었다.

추출된 13개의 최초요인 중 보다 나은 해석을 위하여 주대각성분 추출방법에 의해서 요인수를 결정한다. 이때 요인수를 결정하는 데는 여러 방법이 있으나, 본 연구에서는 고유치(eigen value) 기준으로 판단하였다. 고유치는 요인을 설명하는 분산의 크기를 나타낸 것으로서 고유치가 1보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명한다. 따라서 고유치가 1 이하인 경우 1개의 요인이 변수 1개의 분산을 설명할 수 없으므로 요인으로서의 의미가 없어 제외하고 1.0 이상이 되는 4개 요인을 추출하였다.

요인 1의 고유치는 32.88%, 요인 2는 16.09%, 요

Table 3. Eigen value and cumulative percentage of factor

Component	Eigenvalues	% of Variance	Cumulative %
1	4.274	32.880	32.880
2	2.092	16.093	48.973
3	1.740	13.388	62.361
4	1.174	9.033	71.394
5	0.884	6.804	78.197
6	0.716	5.507	83.704
7	0.468	3.601	87.305
8	0.396	3.043	90.349
9	0.389	2.994	93.343
10	0.339	2.610	95.953
11	0.243	1.867	97.820
12	0.199	1.532	99.352
13	0.084	0.648	100.000

Extraction Method: Principal Component Analysis.

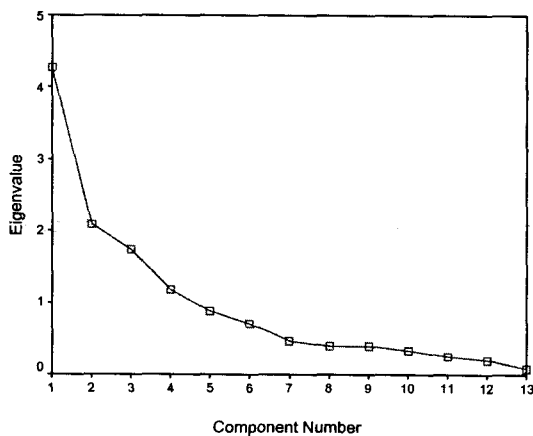


Fig. 2. Plotting of Eigenvalue extracted by Principal Component Analysis.

인 3은 13.39%, 요인 4는 9.03%로서 요인 1을 제외하고는 10%~15%의 기여율을 나타내었다. 이들 요인 1부터 4까지의 누적기여율은 71.39%로써 전체 수질변동의 71.4%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

그리고 최초 인자부하량을 분석한 결과로부터 요인적재량이 어떤 요인에 높게 적재되어 있는지의 여부를 판단하기 위하여 Varimax법으로 회전시켜 요인과 수질변수와의 관계를 보다 정확하게 설명할 수 있는 결과를 Table 4와 Fig. 3에 나타내었다.

주성분 분석 결과 추출된 각 요인과 수질변수와의 관계를 보면, 요인 1은 유기물질을 의미하는

Table 4. Rotated factor matrix extracted from principal component analysis

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
TEMP	-0.267	-0.879	0.015	0.071
PH	-0.008	0.125	-0.121	0.828
DO	0.046	0.898	-0.072	0.168
BOD	0.727	-0.162	0.017	0.456
COD	0.724	-0.155	-0.002	0.480
SS	0.065	-0.372	0.278	0.373
COLI	0.029	-0.111	0.881	-0.035
FCOLI	0.046	-0.001	0.868	-0.049
TN	0.911	0.174	0.072	-0.077
TP	0.710	-0.096	0.146	-0.342
COND	0.753	0.180	-0.014	0.309
NO ₃	0.632	0.142	-0.080	0.057
NH ₃	0.784	0.285	0.159	-0.237

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization(n=864).

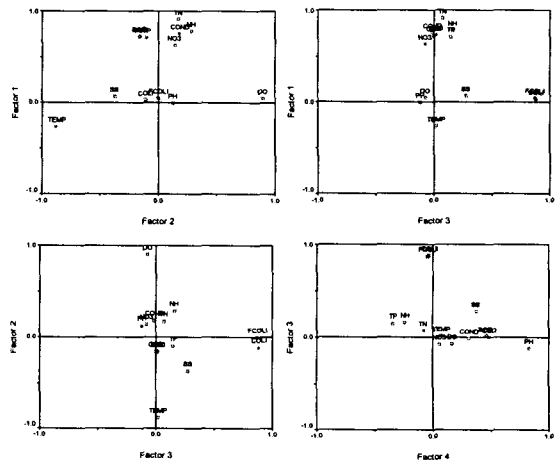


Fig. 3. Factor loading after varimax rotation for variables.

BOD, COD와 정의 상관성을, 영양염류인 총질소(TN), 총인(TP), 암모니아질소(NH₃), 질산질소(NO₃) 및 전기전도도와 정의 인자부하량을 갖고 있었다. 요인 2는 자연적인 변화성을 가진 온도와는 부의 부하량을, 용존산소와는 정의 인자부하량을 가졌다. 요인 3은 인위적 오염기원 물질인 대장균군과 분변성 대장균군이 정의 인자부하량을 나타내고 있었으며, 요인 4는 pH와 정의 인자부하량을 가졌다.

요인 1은 유기오염물질의 지표인 COD와 BOD와 관련성이 있는 것으로 유기물은 그 기원이 따라 외래성 유기물과 자생유기물로 구분할 수 있다. 외래성 유기물은 인위적 오염원에 의한 것으로 생활하수나 축산폐수 등의 유입에 의한 것이며, 자생유기물은 오염원으로부터 유입된 영양물질을 이용하여 증식된 조류에 의해서 나타나는 것을 의미한다. 외래성 유기물은 생활하수가 유입되는 갑천과 미호천의 유입에 따른 유기물량의 변화를 설명할 수 있고, 동시에 하천의 영양물질을 이용한 조류증식에 따른 유기물질의 변화를 나타내는 자생유기물 및 영양염류의 변동을 동시에 설명하고 있었다. 또한 이들 오염물질과 전부 정의 상관성을 나타내고 있어 +로 갈수록 외부오염원에 의한 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 하천에서의 유기물 오염부하의 기여율로서 Shin¹⁸⁾과 Kim and Lee¹⁹⁾가 낙동강과 금강을 대상으로 조사한 자료에 의하면 전체 유기물 오염부하의 약 50% 정도를 자생유기물이 차지하고 있는 것으로 평가되어 유기물의 관리가 중요한 변수로 나타났다.

요인 2는 자연적 변동하는 인자로서 계절적 변동을 하는 온도와 밀접한 관련이 있는 수온 및 용존산소의 변화와 관계를 나타내고 있었다. 수온의 증가에 따른 용존산소의 감소 변동이 정확하게 나타

나고 있으며, 적재된 상관성도 크게 의존하고 있음을 알 수 있다.

요인 3은 도시 생활하수의 유입에 전적으로 의존하는 대장균군 및 분변성대장균군으로 나타났다. 이들 변수는 하천에서 수인성 전염병의 원인이 여러 병원성미생물을 대표하여 측정되는 인자로써 상수에서는 중요한 오염의 지표로 사용되고 있다. 추출된 요인은 대전, 청주, 공주, 부여 등의 도시에서 유출되는 생활하수가 유입하는 갑천, 미호천 등의 하천을 통한 오염에 의하여 금강의 수질이 변화한다는 변동특성을 설명하고 있음을 알 수 있다. 이들 요인은 정의 큰 상관성을 나타내어 생활하수를 통한 병원균성 오염의 영향이 큼을 평가할 수 있다.

요인 4는 pH 농도로써 조류의 성장에 따른 pH의 증가를 설명하는 변수이다. 특히 금강하구둑의 건설로 인한 호 내 담수체류시간의 증가에 따른 호소화 과정에서 조류의 증식에 의하여 높은 pH 농도가 나타나는 것이 주요인으로 평가되었다.

3.3. 요인특점에 의한 시계열 분석

금강수계 수질변동의 요인특성을 살펴보기 위하여 주성분분석에서 얻어진 요인특점에 대한 시계열 변화를 분석하였다. 각각의 추출된 요인에 대하여 지점간이 특성을 고려하여 대청댐 방류수의 영향을 받는 지점 1과 대전시 갑천의 영향을 받는 지점 3과 금강 중하류역 수계에서 상수도 취수원이 존재하는 부여에 위치한 지점 7과 하구호의 특성을 지닌 지점 중 중간지점에 해당되는 지점 11을 대상으로 요인특점에 대한 시계열 분석을 행하였다. 각 요인에 대한 4개 지점의 시계열변화를 Fig.4~7에 나타내었다.

유기오염물질의 부하변동 및 영양물질의 변동특성을 나타내는 요인 1에서는 지점 1이 요인점수가

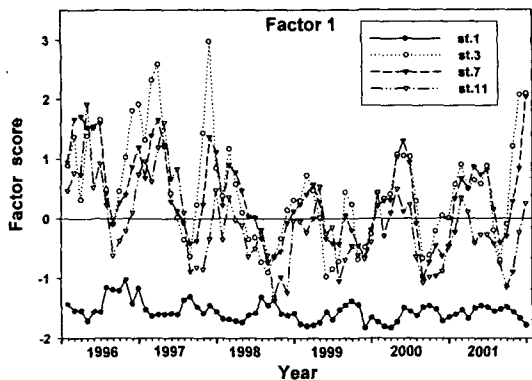


Fig. 4. Seasonal variation of factor score for Factor I.

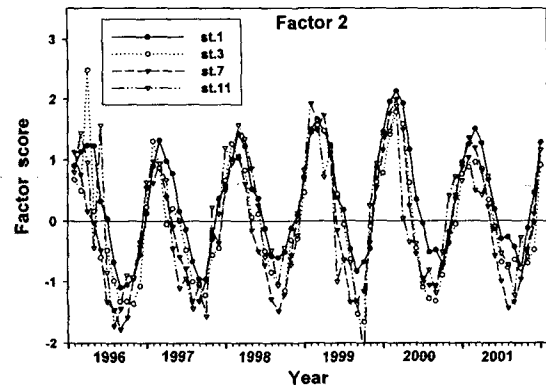


Fig. 5. Seasonal variation of factor score for Factor II.

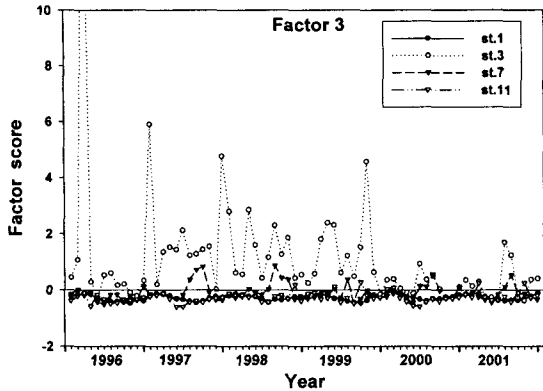


Fig. 6. Seasonal variation of factor score for Factor III.

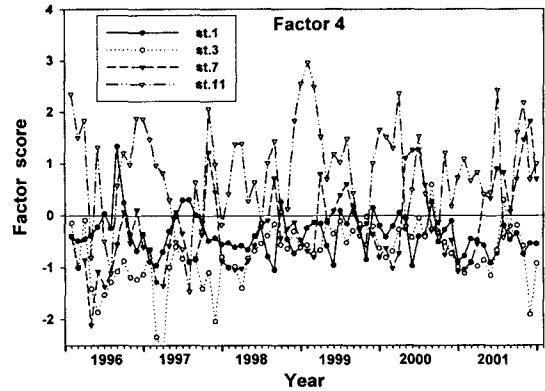


Fig. 7. Seasonal variation of factor score for Factor IV.

가장 낮아 오염부하가 가장 적었고, 지점 3에서 가장 큰 요인점수를 나타내어 대전시의 생활하수에 의한 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

특히 1996년과 1997년도에 오염부하가 가장 크게 나타나 이 시점에서 환경기초시설의 미확충으로 인한 영향으로 생각되며, 1998년 이후 감소하는 추세를 나타내었으나 2001년 후반에 다시 크게 증가하는 경향을 보였다.

자연적인 기후변동 특성을 나타내는 요인 2는 계절변화에 따라 전 지점에서 동일한 변화패턴을 나타내고 있었다. 이것은 하계 수온 증가에 따른 용존 산소 포화량의 감소와 동계 수온 하강에 따른 포화도 증가가 일정하게 반복되는 것을 의미한다.

분변성 오염물질 유입을 의미하는 요인 3에서는 대전시 생활하수의 영향을 받는 갑천이 유입하는 지점 3에서 가장 큰 오염점수를 나타내어, 생활하수에 대한 관리가 중요한 것을 나타내었고, 특히 부여 취수장이 있는 지점 7에서 부여 생활하수에 의한 영향으로 하계 강우유출시기에 간헐적인 피크의 큰 요인점수를 나타내어 이에 대한 관리도 필요할 것으로 판단되었다.

조류성장과 같은 내부 물질변화의 결과로 나타나는 요인 4는 하구호의 특성을 띠고 있는 지점 11에서 큰 요인점수를 나타내어 하구독에 의한 담수체류시간의 증가와 조류의 성장에 따른 영향으로 판단되었다.

3.4. 군집분석

금강수계에서 지점별, 연도별, 월별로 수질인자에 대한 수질변동에 미치는 유사성을 갖게 함으로써 각각에 대한 차이를 명확하게 하기 위하여 주성분 분석에서 얻어진 요인점수(factor score)를 이용¹⁰⁾하여 군집분석을 수행하였다. 지점별, 연도별, 월별로 분석된 결과를 dendrogram으로 도식화하여 Fig.

8~10에 나타내었다.

지점에 대한 군집분석에서 상대적인 거리가 5이하에서 크게 4개의 그룹으로 나뉘었는데, 대청댐 방류수의 영향을 받아 수질이 비교적 양호한 상태를 나타내는 지점 1과 2가 그룹화 되었고, 금강하구언의 직접적인 영향을 받는 하구호의 수질특성을 지닌 지점 10, 11, 12가 그룹화 되었다. 그리고 대전시 생활하수가 직접적으로 유입되는 갑천의 영향을 받는 지점 3이 독립적인 그룹으로, 나머지 지점 4~9가 하나의 그룹으로 나타났다. 지점간 군집분석 결과 금강수계의 지점간 수질특성을 잘 나타내고 있었으며, 특히 갑천의 영향이 상당히 중요한 요인으로 작용함을 알 수 있었다.

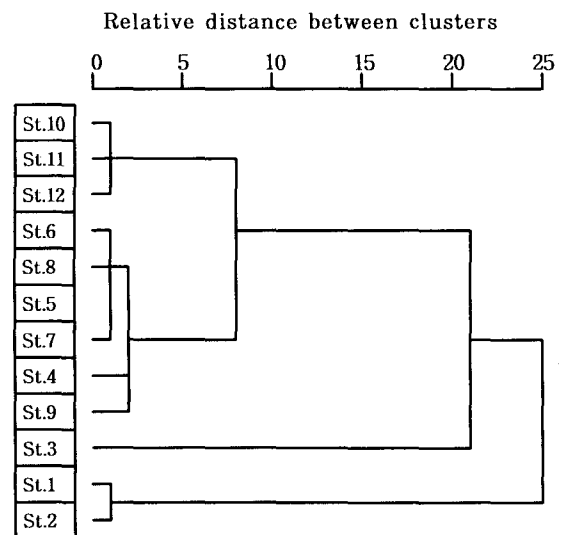


Fig. 8. Dendrogram of unweighted pair-group arithmetic average cluster analysis at station based on factor score.

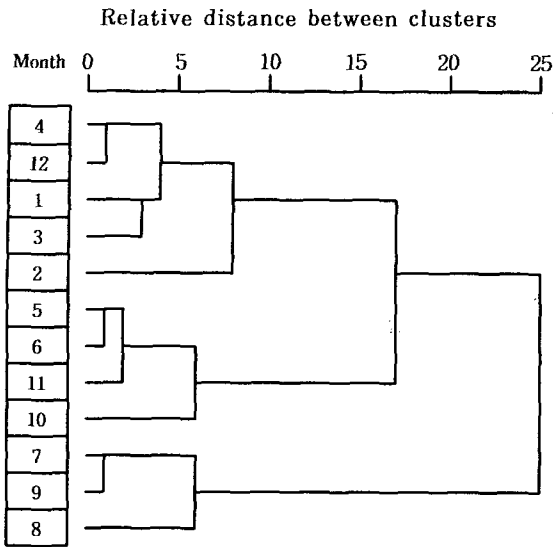


Fig. 9. Dendrogram of unweighted pair-group arithmetic average cluster analysis at month based on factor score.

월별 군집분석 결과를 보면, 계절별 변동 특성을 잘 보여주고 있었다. 상대적인 거리가 10 이하인 집단을 하나의 그룹으로 보았을 때, 동계에 해당되는 12월부터 4월까지가 하나의 그룹으로 구분되었고, 하계인 7월, 8월, 9월이 그룹화 되었으며, 춘계와 추계에 해당되는 5월, 6월, 10월, 11월이 하나의 그룹으로 나뉘어졌다.

연도별 군집분석에서 상대적인 거리가 10 이하일 경우 하나의 그룹으로 보았을 때, 하천수질이 상대적으로 악화되었던 1996년, 1997년이 그룹화 되었으며, 수질이 개선되었던 1998년부터 2000년까지 하나의 그룹으로 나타났고, 2001년이 독립적인 그룹으로 나타나, 2001년 이후 수질이 악화되고 있음을 평가할 수 있다.

4. 결 론

금강수계의 수질특성 평가를 위하여 다변량해석 기법의 하나인 요인분석과 군집분석을 이용하여 자료를 해석한 결과는 다음과 같다.

금강수계의 수질특성은 갑천의 영향을 받는 지점부터 오염물질의 농도가 급격히 증가하는 경향을 보였다. 유기물오염을 나타내는 COD 농도로 3급수를 초과하고 있었다.

요인분석 결과 수질특성의 설명 능력은 유기물 오염변동과 영양염 변동을 설명하는 요인 1이 32.88%, 기후변동에 의한 계절적 변화를 설명하는 요인 2가 16.09%, 생활하수에 의한 병원균성 오염

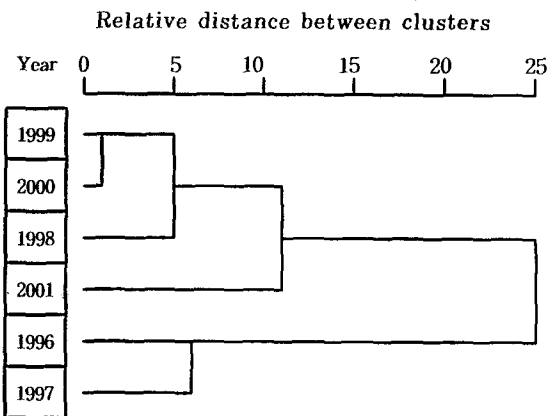


Fig. 10. Dendrogram of unweighted pair-group arithmetic average cluster analysis at year based on factor score.

을 의미하는 요인 3이 13.39%, 하구호 특성에 의한 내부물질 변화를 나타내는 요인 4는 9.03%로 나타나, 이들 요인에 의해 전체 수질특성의 71.39%를 설명할 수 있었다.

요인특점에 의한 지점분석에서 대청댐 영향을 받는 지점과 갑천의 영향을 받는 지점, 하구호 특성을 가진 지점 및 나머지 지점으로 크게 4개의 그룹으로 구분되었다.

지점에 대한 군집분석의 결과에서도 크게 4개의 그룹으로 구분되었는데, 요인특점에 의한 분석결과와 유사하게 나타났다.

이상의 결과에서 금강수계 수질관리를 위해서는 수질지배인자인 오염부하량을 조절해야하고, 특히 생활하수가 유입되는 하천에 대해 고차처리가 가능한 환경기초시설의 확충을 절대적으로 필요한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 군산대학교 수산과학연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Chung, J. Y., J. H. Lee, and H. S. An., 1983, Circulation Dynamics of the Keum River Estuary I. Variability of the Salinity Boundary Layer, J. Oceanogr. Soc. Korea, 18(2).
- 2) You, S. J., J. G. Kim, T. Y. Kwon, and S. M. Lee, 1999, A study on the eutrophication in the Keum river, J. of Korean Env. Sci. Soc., 8(2), 155-160.

- 3) 中路勉, 港和行, 人江鎖三, 1979, 河川水質の統計學的研究(I)-長野縣内天龍川水質への多変量解析の適用-, J. of the faculty of Agri. Shinshs Univ., 16, 79-92.
- 4) 大内晟, 1984, 廣島灣の赤潮豫察 システロについて, 廣水試研報, 第14號, 31-38.
- 5) 太田立男, 鶴健一, 高柳俊博, 1986, 主成分分析法による三河灣海況解析, 用水と廢水, 28(11), 16-19.
- 6) 大内晟, 1982, 廣島灣奥部における赤潮豫報研究の現状, 沿岸海洋ノート, 第20卷, 1號, 33-42.
- 7) 村上和男, 1987, 水質自動觀測データの解析と赤潮豫測への應用, 港灣技術研究所報告, 26(2), 213-252.
- 8) 大内晟, 高山晴義, 1981, 主成分分析による赤潮図について, Bull. of the Japanese Soc. of Sci. Fish., 47(10), 1275-1279.
- 9) 坂本博明, 濱口龍司, 岩瀬政吉, 1988, 東北海道茶内地區河川の多変量解析法による汚濁の評価, 用水と廢水, 30(3), 239-245.
- 10) Boyer, J.N., J.W. Fourqurean, and R.D. Jones, 1997, Spatial characterization of water quality in Florida bay and Whitewater bay by multivariate analysis: zone of similar influence, Estuaries, 20(4), 743-758.
- 11) Hong, S. W., Y. C. Ha, and T. S. Ahn, 1985, Factor analysis of water quality and ecosystem in Jinhae bay, J. Korea water Pollut. Res., October, 9-17.
- 12) Lee, H. J., H. J. Lee, J. S. Han, and S. P. Kwon, 1991, Evaluation of Incheon coastal area water quality using Principal component analysis, J. KWPRK, 7(1), 9-19.
- 13) Lee, M. K., J. H. hwang, and Y. K. Choi, 1966, Water Quality Evaluation on the Bottom Water of Masan Bay by Multivariate Analysis, J. of Korean Env. Sci. Soc., 5(1), 15-23.
- 14) Shin, S. K., C. K. Park, and K. O. Song, 1998, Evaluation of Water Quality using Principal Component Analysis in the nakdong River Estuary, J. of Korean Env. Sci. Soc., 7(2), 17-176.
- 15) Kim, J. G., 1998, Evaluation of water quality in the Keum river estuary by multivariate analysis, J. of Korean Environ. Sci. Soc., 7(5), 591-598.
- 16) Jang, J. H., 1999, A multivariate analysis of water quality characteristics in the Nakdong estuary, M.D. Thesis, Pukyung Nat'l Uni., 75-76.
- 17) 환경부, 1994-2001, 금강 본류 측정망 자료 정보공개요청 자료.
- 18) Shin, S.K., 1996, Water quality management considering autochthonous BOD in the Nakdong river, Ph.D. Thesis, Nat'l Fisheries Uni. of Pusan, 76-88.
- 19) Kim, J. G. and J. Y. Lee, 2001, Application of QUAL2E model for water quality management in the Keum river(I)-estimation of model input parameter and autochthonous BOD-, J. of Korean Env. Sci. Soc., 10(2), 119-127.