

다변량해석기법을 이용한 만경강水系의 水質評價

오 연 찬·이 남 도·김 종 구*
전북대학교 산업기술대학원·*군산대학교 토목환경공학부
(2003년 7월 30일 접수; 2004년 3월 8일 채택)

The Evaluation of Water Quality in the Mankyung River using Multivariate Analysis

Yeon-Chan Oh, Nam-Do Lee* and Jong-Gu Kim*

Graduate School of Industrial Technology, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea
*School of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea
(Manuscript received 30 July, 2003; accepted 8 March, 2004)

This study was conducted to evaluate water quality in the Mankyung River using multivariate analysis. The analysis data which was surveyed from January 1996 to December 2002 in Mankyung river was acquired by the ministry of environment. Twelve water quality parameters were determined on each survey. The results were summarized as follow ; Water quality in the Mankyung River could be explained up to 74.90% by four factors which were included in loading of organic matter and nutrients by the tributaries(43.28%), seasonal variation(10.40%), loading of pathogenic bacteria by domestic sewage of Gapcheon (12.41%) and internal metabolism in river(8.81%). The result of cluster analysis by station was classified into three group that has different water quality characteristics. Especially, Iksan river was appeared to considerable water quality characteristics against other station. In monthly cluster analysis, three group was classified by seasonal characteristics. Also, in yearly cluster analysis, three group was classified. It is necessary to control the pollutant loadings by domestic sewage and livestock waste for water quality management of Mankyung river.

Key Words : Mankyung River, Multivariate Analysis, Cluster Analysis, Factor Loading, Factor Score

1. 서 론

만경강은 전라북도 완주군 동산면 원등산에서 발원하여 전북을 동서로 가로지르는 연장이 약 98km, 유역면적 1,602km²에 이르고 전주, 익산, 군산 등 호남 평야를 거쳐 서해로 유입되는 하천이며¹⁾, 만경강 유역은 우리 나라의 주요 농업 생산지인 호남평야의 전주, 익산, 김제시 등 도시지역을 통과하면서 발생되는 도시생활하수, 공장폐수 및 축산단지 방류수 등과 같은 점오염원과 지천 주변의 넓은 농경지로부터 유출될 수 있는 비점오염원이 혼재되어 있는 유역이다.

만경강 뿐 만 아니라 하천의 경우 상류 지역의

수질은 비교적 양호하다 할 수 있으나 주택지역이나 공단지역을 통과하면서 수질이 급격히 악화된다. 이에 만경강 수질은 현재 새만금 간척사업과 관련하여 사회적으로 많은 관심을 불러일으키고 있다. 그러나 우리 나라의 주요 하천인 낙동강, 금강, 남강 등 많은 하천에 대해서는 수질평가 및 관련연구가 비교적 활발히 진행되고 있는 편이나 만경강의 수질에 대해서는 사회적 관심에 비하여 수질 분석 및 연구에 대한 보고는 매우 적은 편이다²⁻⁴⁾.

따라서 많은 지천들이 만경강으로 유입되어 합류되기 때문에 이들 지천들의 수질이 만경강의 수질에 미치는 영향이 크다고 하겠으며 현재 공사 중에 있는 새만금 간척사업이 완료되면 새만금호 수질에도 직접 영향을 미칠 것이기 때문에 이들 지천의 수질을 정확히 조사하고 지속적으로 관리하여야 할 필요가 있다.

하천 수질은 지천을 통한 오염부하, 하천의 수

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

리·수문학적 특성, 퇴적물의 오염상태, 내부 물질 대사의 정도, 기후의 변동 등이 상호 작용하여 나타나기 때문에 복잡성이 다양하여 수질의 정확한 변동 특성 및 평가를 내리는데 어려움이 있으며, 이들 수질은 지점별, 계절별, 연도별로 변동하는 특성을 가진다. 따라서 하천수계의 환경 관리를 위해서는 장기적이고 체계적인 조사와 아울러 그 해역에 미치는 환경적 변수의 정확한 도출 및 상호영향의 평가를 통한 체계적인 관리가 중요하다.

다변량해석은 일반적으로 연구대상으로부터 측정된 2개 이상의 변수들의 관계를 동시에 분석할 수 있는 모든 통계적인 기법을 말하는 것으로, 요인분석(Factor Analysis), 회귀분석(Regression Analysis), 다변량분산분석(Multivariate Analysis of Variance), 판별분석(Discriminant Analysis), 군집분석(Cluster Analysis) 등 여러 가지의 기법이 있다. 이들 중 여러 변수의 상관관계를 기초로 하여 정보의 손실을 최소화하면서 변수의 개수를 보다 적은 수의 요인으로 자동변동을 설명하는 기법인 요인분석을 통하여 해석하는 것이 타당하다.

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 수질오염 평가에 이용⁵⁾한 이후 해양에 적용되어 해양특성 및 수질평가, 해양해석, 적조도 조사, 적조예측 등의 많은 분야에 이용된 바 있으며⁶⁻¹²⁾, 미국에서는 플로리다만의 수질특성 평가를 위하여 다변량해석을 적용¹³⁾한 연구 등이 알려져 왔다. 국내에서의 연구는 요인분석을 통한 진해만의 수질 및 생태계 변화요인 평가¹⁴⁾, 주성분분석법을 통한 인천연안의 수질평가¹⁵⁾, 다변량해석을 통한 마산만 저층수의 수질평가¹⁶⁾와 주성분분석법에 의한 낙동강 하구해역의 수질평가¹⁷⁾, 금강하구역의 수질평가¹⁸⁾ 및 다변량해석에 의한 낙동강 하구해역의 평가¹⁹⁾ 등이 보고되어 있다.

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

본 연구는 만경강수계에 대한 환경부 수질측정망의 수질관측 자료²⁰⁾를 바탕으로 수질의 변동특성을 조사하고, 종합적인 수질평가를 위하여 다변량해석 기법 중 요인분석 및 군집분석을 적용하여 수계의 수질 결정인자를 도출하고 시·공간적인 특성에 따른 수질을 결정하는 주요인을 조사하여 통계학적으로 수질 관리에 기여하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 대상유역 및 자료도출

만경수계에 대한 환경부 수질측정망 조사자료를 이용하여 수질특성을 설명하고, 다변량해석기법을 이용하여 수질평가를 하였다. 만경강수계 수질자료는 총 10개 정점을 대상으로 1996년 1월부터 2002년 12월까지 월별로 관측된 전주지방환경관리청에서 운영하는 수질측정망 자료를 이용하였다. 수질자료는 환경부 인터넷 사이트의 정보공개요청에 의하여 획득하였고, 이들 자료 중에서 연도별, 지점별 측정된 자료수가 일치하는 항목에 대해서만 통계분석을 실시하였다.

측정망 관측지점은 총 10개정점으로 만경강 본류인 고산천, 전주천, 삼례천, 김제천이 동서로 위치해 있고, 지류는 소양천1과 소양천2가 본류 남동쪽에 위치하여 본류인 고산천과 전주천 사이로 유입되고, 삼례천은 본류 남쪽에 위치하여 본류 남동쪽에 위치한 전주천1과 전주천6과 합류하여 본류인 전주천과 삼례천 사이로 유입되며 익산천은 본류 북쪽에 위치하며 삼례천과 김제천 사이로 유입된다(Fig. 1).

만경수계별 토지이용 특성을 보면, 본류의 경우 전주지점은 상류 고산천 및 소양천의 영향을 받으며 산림지역에 해당되고, 삼례지점은 전주천의 영향을 받으며 주거, 상업 및 공업지역이 복합된 유역이다. 김제지점은 익산천의 영향을 받는데, 익산천 상류는 농·축산지역 및 익산시 생활하수의 영향을 받는 유역이다.

측정항목은 수온(Temperature), pH, 용존산소(DO), 생물화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(TN), 총인(TP), 대장균군(Coliform), 분변성대장균군(Fecal Coliform), 전기전도도(Conductivity), 질산질소(Nitrate), 인산인(Phosphate), 암모니아질소(Ammonium), Chlo-

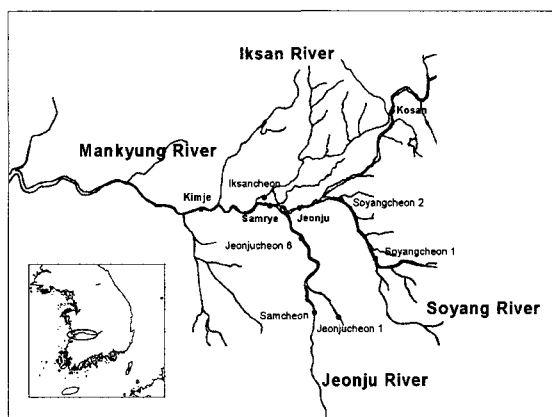


Fig. 1. Map of sampling station in the Mankyung river.

rophyll-a로써 총 15개 항목이 조사되었고, 이들 자료 중 통계분석에 이용된 자료는 12개 항목이다. 이들 분석방법은 환경부 측정망에서 제시된 시험법을 사용한다.

2.2. 통계분석기법

2.2.1. 상관분석 기법

변수간의 관련성을 연구하기 위해 좌표상에 관측된 수치들을 나타낼 수 있으나 요약된 지수를 계산하여 관련성의 정도를 계량화하는 것이 보다 유리하다. 보편적으로 자주 이용되는 척도가 바로 피어슨의 상관계수(Pearson correlation coefficient : r)이다.

상관계수 r은 $-1 \leq r \leq +1$ 의 값을 갖고 측정된 데이터가 좌표상에 정의 기울기를 갖는 직선에 가까울 때 이 상관계수는 정(+)의 상관계수를 그리고 음의 기울기를 갖는 직선에 가까울 때 음(-)의 상관계수를 갖는다. 또한 선형의 상관관계를 갖지 않는 경우 상관계수는 0에 가까워진다.

변수간의 상관관계의 계수(r)의 절대값이 1.00이면 완전한 상관관계, 0.90이면 매우 높은 상관관계, 0.70~0.80이면 상관관계가 높다가 말 할 수 있으며, 0.50~0.60이면 보통의 상관관계 그리고 0.40이하이면 약한 상관관계가 있다고 할 수 있다.

2.2.2. 요인분석

요인분석 기법은 먼저 분석된 자료, 즉 수질항목별 조사자료를 이용하여 전체 수질항목변수들 간의 보다 간결하고 명료한 관계를 가지는 요인을 추출하기 위하여 각 변수간 상관행렬을 이용해서 주 대각선상의 값을 변형시키지 않는 채 요인행렬을 추출하는 주 대각성분 요인추출법을 이용한다. 그리고 추출된 최초요인은 고유치가 최소 1.0이상이어야 한다는 기준으로부터 요인을 추출하고, 요인에 해당되는 변수를 설명해주는 의미를 가진 요인부하량을 산출한다. 여기서 고유치 1.0의 의미는 하나의 변수가 한개이상의 변수를 설명한다는 것을 의미하는 것으로 1.0 이하가 되면 요인으로써의 의미가 없음을 뜻한다. 그 후 여러 요인이 비슷한 요인부하량을 나타낼 경우 변수들이 어떤 요인에 높게 작용하는지를 알아보기 위하여 요인축을 회전시키는데, 이러한 요인의 회전을 통하여 변수와 요인 사이의 관계를 더욱 명확히 하여 변수와 요인과의 해석을 보다 쉽게 할 수 있게 하는 것이다. 본 연구에서는 요인회전 방법으로 분산구조보다는 각 요인의 특성을 알고자 할 때 유용한 것으로 알려진 Varimax방식을 적용하였다.

요인들의 선형결합으로 표현되는 요인특점은 각

조사지점별, 연도별, 계절별 변수의 응답을 이용하여 아래 식으로 계산한다.

$$F_{jk} = \sum_{j=1}^P W_{jk} Z_{jk}$$

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.

2.2.3. 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 전체공간에 랜덤하게 흐트러져 있는지 혹은 조밀성을 이루고 있는지에 관한 정보를 가진다. 이는 다변량 자료에 대한 구조적 단순화라는 측면에서 중요한 의미를 가진다.

군집분석은 변수들의 유사성 즉, 변수자료가 얼마나 비슷한 값을 가지고 있는지를 거리로 환산하여 거리가 가까운 대상들을 동일집단으로 구분하며, 이를 통하여 전체 다변량자료의 구조 파악, 군집의 형성과정 및 특성파악, 군집간의 관계를 이해하는 것이 목적이다.

군집분석은 단지 측정치의 차이를 이용하기 때문에 변수선택, 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 군집간의 거리로 정의하는 비가중치 쌍집단방식(UPGMA : unweighted pair-group method arithmetic average)이다.

본 연구에서는 주성분분석에서 얻어진 요인점수

를 이용하여 각기 다른 환경인자의 영향을 받는 그룹인 조사정점, 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

만경강수계의 수질특성을 알아보기 위하여 환경부

조사관측자료를 이용하여 1996년 1월부터 2002년 12월까지 관측된 12개 수질항목에 대한 수질조사결과를 Table 1에 나타내었다.

만경강의 유기오염 정도를 나타내는 BOD농도를 보면, 본류의 경우 전 조사지점에서 0.4~16.7mg/L의 범위로 분포하였으며 평균 4.0mg/L로 나타났다. 지점별 BOD농도의 변화는 상류인 고산천에서 하류제수문이 있는 김제지점으로 유하하면서 전주천과 익산천의 영향으로 BOD농도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 특히 오염원이 없는 소양천과 합류하

Table 1. Range and mean values of water quality constituents during 1996~2002 for Mankyung river

Station		Temp	PH	DO	BOD	COD	SS	TN	TP	Coli	Cond.	NH ₃	F. coli	
		°C		mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	MPN	μmhos/cm	mg/ℓ	MPN	
M A I N	MIN	2.0	6.2	7.0	0.4	1.1	0.4	N.D.	N.D.	2	2	N.D.	0	
	Kosan	MAX	28.0	8.9	13.9	2.2	5.7	22.5	5.733	0.355	1,600	236	6,008	4
		MEAN	15.1	7.6	10.4	1.0	2.2	2.8	2.210	0.035	163	56	1,492	0
	MIN	2.0	6.8	5.2	0.5	1.1	0.3	0.743	N.D.	4	6	0.033	0	
	Junju	MAX	31.0	9.7	17.4	4.3	6.2	36.9	8.606	0.628	11,000	6,120	7,225	2
		MEAN	16.9	7.8	10.4	1.6	3.2	5.0	3.122	0.073	522	311	1,947	0
	MIN	4.0	6.7	3.1	1.2	3.8	1.2	1.475	0.066	20	11	N.D.	11	
	Samrye	MAX	31.0	8.6	12.3	16.7	26.1	31.6	29.551	2.207	16,000	1,432	19,654	16,000
		MEAN	17.7	7.6	8.4	6.1	11.9	11.8	12.006	0.664	1,749	475	2,581	1,172
T R I B U T R I E S	MIN	3.0	6.2	1.1	2.7	4.5	2.4	0.975	0.135	20	16	N.D.	2	
	Kimje	MAX	31.0	9.6	12.2	15.7	27.3	68.7	32.753	2.061	24,000	1,342	30,624	16,000
		MEAN	16.9	7.7	7.8	7.3	12.8	18.6	12.195	0.636	2,444	441	3,158	1,060
	MIN	2.3	6.8	6.2	0.4	0.8	0.2	0.720	N.D.	2	16	N.D.	0	
	Soyang1	MAX	30.0	9.1	13.7	2.5	3.8	12.6	8.328	0.132	80,000	620	2,067	30,000
		MEAN	14.1	7.5	9.7	1.4	2.1	2.3	2.845	0.036	3,057	172	0.330	751
	MIN	4.0	6.0	1.0	0.7	1.4	0.8	1.272	N.D.	8	12	N.D.	2	
	Soyang2	MAX	30.0	9.7	14.2	18.5	14.3	26.0	8.556	1.564	240,000	571	5,300	80,000
		MEAN	15.4	7.6	8.4	4.6	4.9	5.5	4.322	0.259	12,219	223	0.809	3,962
J u n j u 6	MIN	1.0	6.0	0.7	3.0	4.8	1.2	1.584	0.115	50	20	N.D.	17	
	Junju1	MAX	31.0	8.3	12.9	17.1	33.4	39.0	39.733	2.183	160,000	1,684	27,180	46,000
		MEAN	18.1	7.4	6.4	7.7	16.4	11.7	14.840	0.820	20,483	578	3,797	4,661
	MIN	1.8	6.4	6.7	0.4	0.5	0.3	0.516	N.D.	0	10	N.D.	0	
	Junju6	MAX	29.4	8.6	13.6	1.8	2.4	14.4	5.352	0.096	170,000	451	6,467	21,000
		MEAN	14.8	7.5	10.0	1.0	1.4	1.6	2.367	0.020	4,797	116	0.326	448
	MIN	2.0	6.1	5.6	0.6	1.0	1.1	0.084	N.D.	8	14	N.D.	0	
	Samchun	MAX	30.0	8.4	13.9	4.5	5.8	18.8	5.340	1.000	350,000	342	1,567	30,000
		MEAN	15.0	7.3	9.2	2.1	3.2	4.2	2.108	0.103	10,008	139	0.288	1,908
I k s a n	MIN	1.0	6.7	0.6	6.4	6.7	5.1	2.485	0.006	22	7	N.D.	4	
	Iksan	MAX	31.0	8.5	10.4	184.2	95.7	137.6	62.954	5.892	160,000	6,750	60,236	110,000
		MEAN	17.5	7.6	5.2	34.3	25.7	28.3	23.512	1.879	23,144	428	10,526	10,118

는 전주지점에서 2급수의 농도를 보이다 전주생활하수가 유입하는 전주천과 축산폐수가 유입하는 익산천 합류지점에서 평균 수질기준 3급수를 상회하는 농도를 나타내어 유기오염이 심각한 수준이 있음을 알 수 있다.

지류에서의 BOD농도는 전 조사지점에서 0.4~184.2mg/L의 범위로 분포하였으며 평균은 8.5mg/L로 나타났다. 지류의 농도변화는 소양천 상류가 1급수이나 하류인 소양6 지점에서 3급수를 보였고, 전주천 상류인 전주1에서 3급수를 상회하나 전주시 하수처리장과 합류되는 전주1에서는 1급수로 낮아졌는데, 이는 하수처리장 상류에 위치한 생활하수를 찾집하여 처리한 효과로 판단된다. 그러나 전주천과 합류한 본류의 삼례지점에서 BOD가 증가하고 있어 그 구간사이에 축산폐수나 생활하수가 유입되는 다른 오염원이 존재함을 알 수 있다. 익산천에서는 평균 34.3mg/L로 5급수를 훨씬 상회하는 농도를 나타내어 만경강수계의 주요오염원임을 알 수 있다.

화학적산소요구량인 COD는 본류에서 1.1~27.3 mg/L의 범위를 나타내며 7.5mg/L의 평균값을 보이고 있다. 지점별 COD농도 변화를 살펴보면 BOD와 같은 변화 패턴을 보이고 있다.

지류에서의 COD농도는 0.5~95.7 mg/L의 범위를 보이며 9.0mg/L의 평균값을 보이고 있다. COD의 농도가 BOD의 농도에 비해 전반적으로 높은 경향을 보이고 있는데 이는 공단폐수, 도시생활하수 및 축산폐수 등에 생물학적 분해가 가능하지 않은 난분해성 유기물이 상대적으로 증가하기 때문으로 사료된다.

병원성 오염물의 지표인 대장균군은 본류에서는 0.0~24,000MPN의 범위로 나타나며 평균 1,219MPN을 나타내고 있다. 본류의 대장균군농도는 유기오염물질의 변동과 같이 전주천과 익산천의 영향을 받는 삼례지점과 김제지점에서 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 하천수질환경기준과 비교하여 상수원수 3급수에 해당되는 3등급수에 속하였다.

지류에서의 대장균군은 0~350,000MPN의 범위로 나타나며 평균 12,284MPN를 나타내고 있다. 대장균군 오염이 가장 심한 지점은 익산천이며 다음으로 전주천1과 소양천 2, 삼천의 순으로 나타났다.

TN은 본류에서 0~32.753mg/L의 범위를 나타내며 7.386mg/L의 평균값을 나타내고 있다. 지점별 TN의 농도 변화를 살펴보면 상류인 고산천에서 하류인 김제천으로 유하하면서 농도가 증가하는 경향을 보였고, 도시생활하수가 유입하는 전주천의 영향을 받는 삼례지점과 축산폐수의 영향을 받는 김제지점에서 높은 TN농도를 보였다. 만경수계는 하구 쪽으로 가면 새만금 간척매립사업이 현재 진행중인

데 이처럼 고농도의 영양염류가 유입할 경우 하구 해역에 부영양화와 아울러 적조를 발생시킬 수 있는 주요 오염원으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 해역의 수질환경기준에서 TN은 3급수의 경우 1mg/L로 현재 유입되는 농도가 상당히 높은 농도를 판단할 수 있다.

지류에서의 TN농도 변화를 살펴보면 0.084~62.954mg/L의 범위를 나타내며 8.329mg/L의 평균값을 나타내고 있다. 전주천과 익산천이 평균 14.840mg/L과 23.512mg/L로 가장 높았고, 다른 지점의 경우 상대적으로 낮은 농도를 보였다.

TP는 본류에서 0~2.207mg/L의 범위로 평균 0.636mg/L를 나타내고 있다. 지점별 TP의 농도를 살펴보면 TN과 변화 패턴이 비슷하였다. 지류에서의 TP의 농도를 살펴보면 0~5.892mg/L의 범위를 나타내며 0.520mg/L의 평균값을 나타내고 있다. 익산천이 평균 1.879mg/L로 가장 높았고, 전주1과 삼천의 순으로 높은 농도를 나타내었다. 해역에서의 TP의 해역수질환경기준 3등급이 0.09mg/L로 정하고 있어 현재 유입되는 TP의 농도가 상당히 고농도로써 해역 부영양화에 크게 작용할 것으로 판단된다.

수질인자간의 관련성을 평가하기 위하여 12개 수질항목에 대한 단순상관분석을 실시한 결과를 Table 2에 나타내었다.

유기오염 지표인 BOD와 COD는 타항목에 비하여 온도와 상관성이 크고 BOD는 COD ($r=0.893$), SS ($r=0.618$), TN ($r=0.754$), TP ($r=0.822$)와 정(+)의 좋은 상관성을 보였으며, COD는 SS ($r=0.602$), TN ($r=0.828$), TP ($r=0.871$)와 높은 정(+)의 상관성을 나타내었다. 주로 생활하수나 축산폐수 기원의 오염물질인 유기물질과 영양염류가 좋은 상관성을 나타내고 있어 이들에 의한 영향이 뚜렷한 특성을 가지고 있음을 판단할 수 있다.

3.2. 주성분분석

만경수계에서 1996년부터 2002년까지 7년간 총 12개의 수질항목을 대상으로 조사된 자료를 이용하여 주성분분석을 행한 결과 나타난 12개 요인의 고유치와 수질에 미치는 기여율을 Table 3에 나타내었다.

추출된 12개의 최초요인 중 보다 나은 해석을 위하여 주대각성분 추출방법에 의해서 요인수를 결정한다. 이때 요인수를 결정하는 데는 여러 가지 방법이 있으나, 본 연구에서는 고유치(Eigen-Value) 기준으로 판단하였다. 고유치는 요인을 설명하는 분산의 크기를 나타낸 것으로 고유치가 1보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명한다. 따라서 고유치가 1 이하인 경우 1개의 요인이 변

Table 2. Correlation matrix among 12 variables

	TEMP	pH	DO	BOD	COD	SS	TN	TP	COLI	COND	NH3	FCOLI
TEMP	1.000											
pH	-.336	1.000										
DO	-.345	.296	1.000									
BOD	-.017	-.034	-.463	1.000								
COD	-.091	-.001	-.431	.893	1.000							
SS	.057	.011	-.382	.618	.602	1.000						
TN	-.188	.000	-.394	.754	.828	.471	1.000					
TP	-.105	-.023	-.420	.822	.871	.513	.821	1.000				
COLI	.014	-.059	-.168	.239	.222	.161	.280	.238	1.000			
COND	-.159	.194	-.095	.318	.385	.264	.369	.307	.008	1.000		
NH3	-.270	.048	-.184	.389	.429	.202	.454	.445	.069	.298	1.000	
FCOLI	-.046	-.076	-.163	.228	.262	.148	.299	.279	.715	.076	.157	1.000

Table 3. Eigen value and cumulative percentage of factor

Component	Eigenvalues	% of Variance	Cumulative %
1	5.194	43.280	43.280
2	1.489	12.411	55.691
3	1.248	10.398	66.090
4	1.057	8.810	74.900
5	0.810	6.750	81.650
6	0.522	4.347	85.998
7	0.451	3.762	89.760
8	0.333	2.773	92.533
9	0.306	2.548	92.081
10	0.297	2.472	97.553
11	0.179	1.491	99.043
12	0.115	0.957	100.000

*Extraction Method : Principal Component Analysis

수 1개의 분산을 설명할 수 없으므로 요인으로서의 가치가 없어 제외하고 1.0 이상이 되는 4개 요인을 추출하였다.

요인 1의 고유치는 5.194로서 기여율 43.28%, 요인 2는 고유치 1.489로서 기여율 12.41%, 요인 3은 고유치 1.248로서 기여율 10.40%, 요인 4는 고유치 1.057로서 기여율 8.81%로서 요인 1을 제외하고는 약 10%~15%의 기여율을 나타내었다. 이들 요인 1부터 4까지 누적기여율은 74.9%로서 전체 수질 변동의 74.9%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

그리고 최초 인자부하량을 분석한 결과로부터 요

인적재량이 어떤 요인에 높게 적재되어 있는지의 여부를 판단하기 위하여 Varimax법으로 회전시켜 요인과 수질변수와의 관계를 보다 정확하게 설명할 수 있는 결과를 Table 4와 Fig. 2에 나타내었다.

주성분분석 결과 추출된 각 요인과 수질변수와의 관계를 살펴보면, 요인 1은 유기물질을 의미하는 BOD, COD와 정의 상관성을, 영양염류인 TN, TP, NH₃ 및 SS과 정의 인자부하량을, DO와는 부의 인자부하량을 갖고 있었다. 요인 2는 인위적 오염 기원물질인 대장균과 분변성대장균군이 정의 인자부하량을 가졌다. 요인 3은 자연변화성을 가진 수온과는 정의 인자부하량을, DO와는 부의 인자부하량을

Table 4. Rotated factor matrix extracted from Principal Component Analysis

Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
TEMP	-0.074	0.011	0.941	0.037
pH	-0.023	-0.021	0.061	0.910
DO	-0.641	-0.140	-0.527	0.228
BOD	0.830	0.201	-0.035	0.023
COD	0.931	0.113	0.006	0.109
SS	0.730	0.131	0.119	0.129
TN	0.892	0.116	-0.041	0.120
TP	0.846	0.129	0.111	0.028
COLI	0.111	0.914	0.053	0.013
COND	0.364	0.018	-0.105	0.493
NH ₃	0.764	0.089	-0.244	0.099
FCOLI	0.254	0.874	-0.006	-0.024

*Rotation Method : Varimax with Kaiser Normalization

다변량해석기법을 이용한 만경강水系의 水質評價

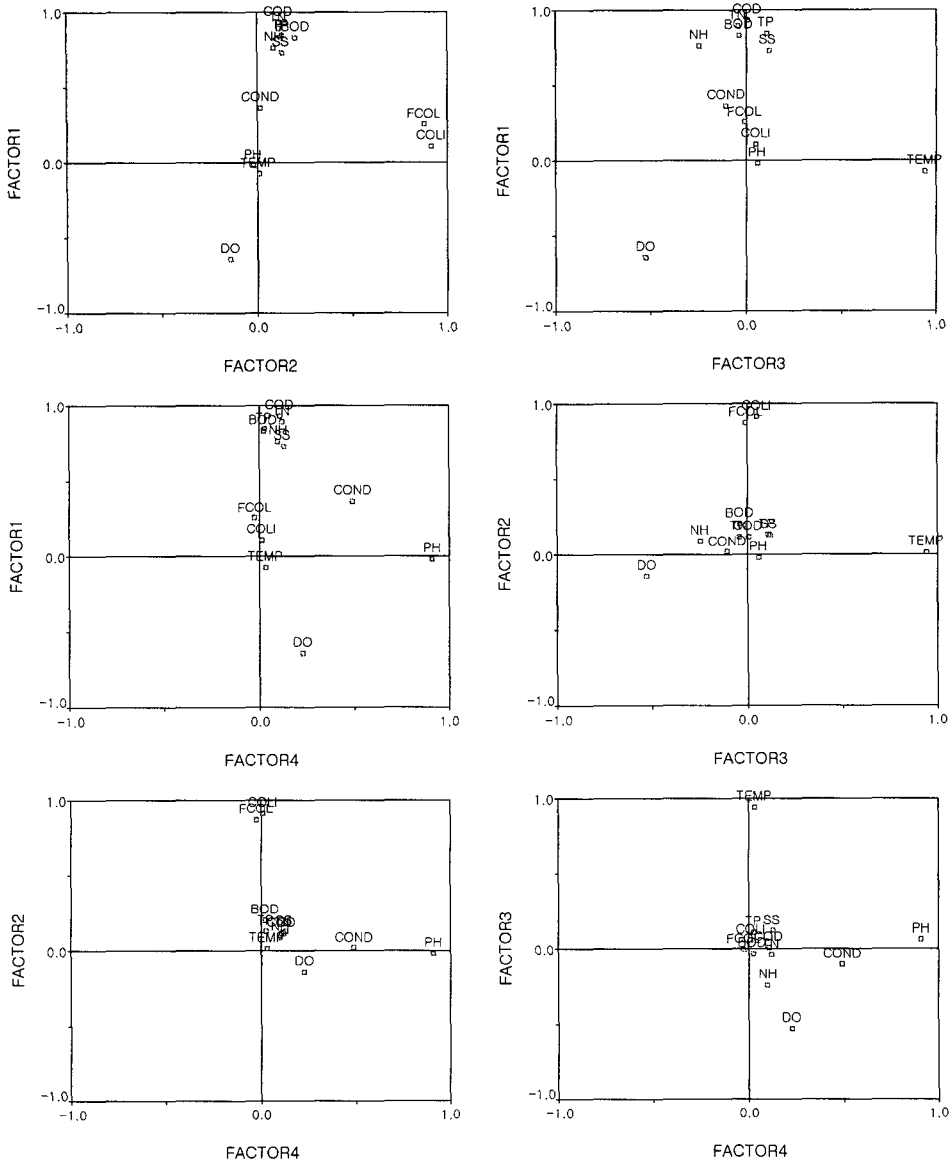


Fig. 2. Factor loading after varimax rotation for variables.

나타내고 있었으며, 요인 4는 pH와 정의 인자부하량을 가졌다.

요인 1은 유기오염물질의 지표인 COD와 BOD와 관련성이 있는 것으로 유기물은 그 기원에 따라 외래성 유기물과 자생 유기물로 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. 외래성유기물은 생활하수가 유입되는 각 본류와 지류의 유입에 따른 유기물량의 변화를 설명할 수 있다.

또한 이들 오염물질과 전부 정의 상관성을 나타내고 있어 +로 갈수록 외부오염원에 의한 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다. 또한 외래성유기물 유입에 따른 높은 영양염부하는 식물플랑크톤 성장에 이용되며 이에 의한 자생유기물의 영향도 크게 작용될 것으로 판단된다. 일반적으로 하천에서의 유기물 오염부하의 기여율^{21,22)}로서 낙동강과 금강을 대상으로 조사한 자료에 의하면 전체 유기물 오염부하의 약 50%정도를 자생유기물이 차지하고 있는 것으로 평가되어 유기물의 관리가 중요한 변수로 나타났다.

요인 2는 도시생활하수의 유입에 전적으로 의존하는 대장균군 및 분변성대장균군으로 나타났다. 이들 변수는 하천에서 수인성 전염병의 원인이 여러 병원성 미생물을 대표하여 측정되는 인자로서 상수에서는 중요한 오염의 지표로 사용되고 있다. 추출된 요인은 전주, 익산 김제 등의 도시에서 유출되는 생활하수가 유입하는 각 분류와 지류의 하천을 통한 오염에 의하여 만경강의 수질이 변화한다는 변동특성을 설명하고 있음을 알 수 있다. 이들 요인은 높은 정의 상관성을 나타내어 생활하수를 통한 병원균성 오염의 영향이 큼을 평가할 수 있다.

요인 3은 자연적, 계절적 변동을 온도와 밀접한 관련이 있는 수온 및 용존산소의 변화와 관계를 나타내고 있었다. 수온의 증가에 따른 용존산소의 감소 변동이 정확하게 나타나고 있으며, 적재된 상관성도 크게 의존하고 있음을 알 수 있다.

요인 4는 pH 농도로써 조류의 성장과 공장 등에서 배출되는 독성폐수에 따른 pH의 증가를 설명하는 변수이다.

3.2.1. 요인특점에 의한 지점별 수질변동 평가
지점간의 수질 변동 특성을 조사하기 위해서 주성분분석 결과 얻어진 요인특점을 조사지점으로 산술 평균하여 구한 값을 산포도로 작성하여 Fig. 3에 나타내었다.

요인 1은 인위적 오염의 영향을 가장 적게 받는

고산천, 전주천6, 소양천1에서 요인특점이 -0.6370, -0.6378, -0.6058으로 매우 낮은 값을 보여 인위적 오염이 가장 적음을 보였고, 지류인 전주천1, 익산천에서는 0.5410과 1.7811로 높은 요인특점을 나타내어 도시생활하수와 축산단지내에서 방류되는 축산폐수에 의한 유기오염이 높음을 알 수 있다. 병원균성 오염을 나타내는 요인 2는 소양천2와 익산천에서 0.6226과 0.5529로 높은 요인특점을 나타내는데 이는 소양천2의 농업배수와 익산천의 축산폐수에 의한 오염부하가 중요함을 알 수 있다. 그리고 전주천에서는 0.5548의 높은 요인특점을 보이는데 이는 전주지역의 도시생활하수에서 배출되는 N, P의 영양염이 조류의 성장에 영향을 끼쳤으리라 판단된다.

3.2.2. 요인특점에 의한 연도별 수질변동 평가
연도별 수질변동 특성을 평가하기 위하여 주성분분석 결과 얻어진 요인특점을 연도별로 산술 평균하여 구한 값을 산포도로 작성하여 Fig. 4에 나타내었다.

도시생활하수 중 유기오염과 영양염류 부하특성을 나타내는 요인 1은 1996년에 0.2762로 정의 요인 부하를 나타내어 유기물부하의 영향이 가장 크게 나타남을 알 수 있고, 1997년~2002년에는 부의 요인부하를 나타내는데 2002년에 -0.0169로 가장 적었다. 병원균성 오염을 나타내는 요인 2은 1997년~2000년에 0.0476~0.1238의 요인특점으로 정의 부하

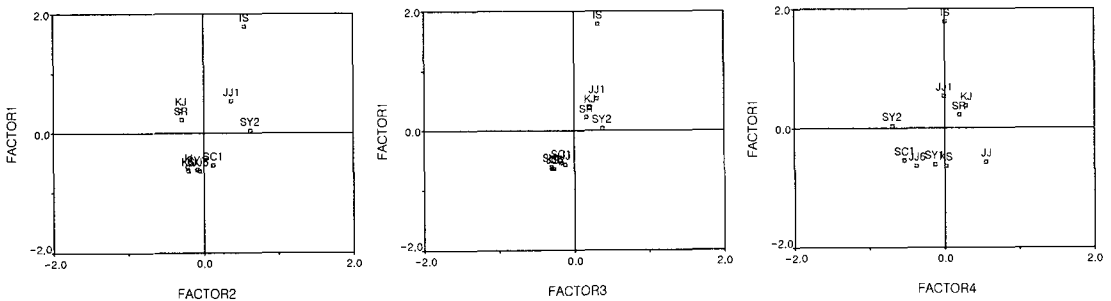


Fig. 3. Factor score for spatial variation in the Mankyung river.

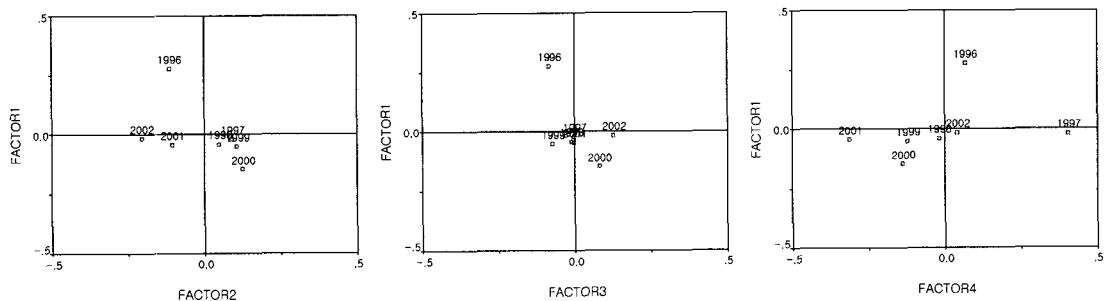


Fig. 4. Factor score for yearly variation in the Mankyung river.

다변량해석기법을 이용한 만경강水系의 水質評價

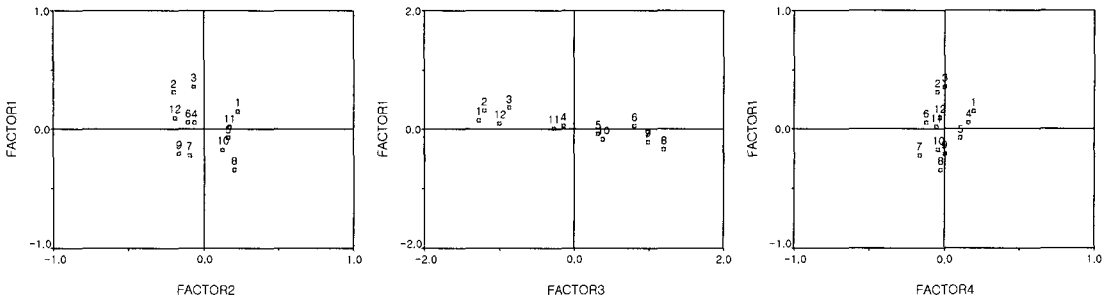


Fig. 5. Factor score for monthly variation in the Mankyung river.

를 보였다. 전체적으로 도시생활하수에 의한 유기물 오염부하가 환경기초시설의 확충으로 인해 1996년 이후 약간 정비례적으로 감소하지는 않으나 대체적으로 감소하는 추세를 나타내고 있다.

3.2.3. 요인특점에 의한 월별 수질변동 평가

월별 수질변동 특성을 평가하기 위하여 주성분분석 결과 얻어진 요인특점을 월별로 산술 평균하여 구한 값을 산점도로 작성하여 Fig. 5에 나타내었다.

유기오염부하와 영양염류 부하특성을 나타내는 요인 1의 경우 2월과 3월에 0.3113, 0.3583의 높은 요인특점을 보였고, 동계인 11월부터 4월까지 정의 요인특점을 나타내어 갈수기의 유기물부하에 의한 영향이 크게 나타난 반면, 하계인 7월부터 9월동안에는 부의 요인특점을 보여 강우에 의한 유량증가

에 따른 농도감소를 나타내었다. 병원균성 오염부하를 나타내는 요인 2은 8월에 0.2031로 높은 요인특점을 나타내고 있는데 8월의 하계에는 우리나라의 강우 특성상 하계에 집중되는 이유로 도시생활하수의 유출로 인해 높은 요인특점을 나타내고 있다. 특히 자연적 변동성을 보이는 요인 3은 하계에 큰 정의 요인특점을 나타내었고, 동계에 높은 부의 요인특점을 보여 계절적 변동을 잘 나타내고 있다.

3.2.4. 지점별, 연도별 주성분분석

만경강의 종합적인 수질평가 및 오염물질 부하특성을 평가하기 위하여 지점별, 연도별 각각의 주성분분석을 통하여 개개의 요인들을 추출한 결과를 Table 5와 Table 6에 나타내었다.

지점간의 주성분분석에서 추출된 요인 중 유기물

Table 5. The principal component for each station

Component	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	
KS	Temp., DO	TN, NH ₃	pH, Cond.	BOD, TP	Coli.	FColi.	
JJ	DO	TN, NH ₃	COD	pH, Cond.	FColi.		
SR	Temp., BOD, COD, TN, TP, Cond.NH ₃	Coli., FColi.	pH, DO	SS			
KJ	BOD, COD, TN, TP, Cond., NH ₃	Coli., FColi.	pH, DO	SS			
Each Station	SY1	Coli., FColi.	Temp., DO	BOD, COD, SS	pH, TP, NH ₃	TN	Cond.
	SY2	Temp., pH, DO, BOD, COD, TP, NH ₃	SS, TN, Cond.	Coli., FColi.			
	JJ1	COD, TN, TP, Cond.	BOD, SS, NH ₃	Coli., FColi.			
	JJ6	BOD, COD, SS	Temp., DO, TP	Coli., FColi.	pH, Cond.	TN, NH ₃	
	SC1	BOD, COD, SS	Temp., DO	pH, Cond, NH ₃	Coli., FColi.	TP	
	IS	Temp., BOD, COD, TN, NH ₃	DO, TP	Coli., FColi.	pH		

Table 6. The principal component for each year

Component	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	
Each year	1996	DO, BOD, COD, SS, TN, TP, Coli., NH ₃ , FColi.	pH	Temp.	
	1997	BOD, COD, SS, TN, TP, NH ₃	Coli., FColi.	Temp., DO	pH, Cond.
	1998	BOD, COD, SS, TN, TP, Cond., NH ₃	Coli., FColi.	Temp., pH, DO	
	1999	BOD, COD, SS, TN, TP, NH ₃	Coli., FColi.	Temp., DO	pH
	2000	BOD, COD, SS, TN, TP	Coli., FColi.	Temp., Cond.	pH
	2001	BOD, COD, SS, TN, TP, NH ₃	Coli., NH ₃ , FColi.	SS, Cond.	Temp., pH
	2002	BOD, COD, TN, TP	Coli., FColi.	Temp., Cond.	

부하와 관련된 BOD와 COD 및 자연적 변동을 의미하는 요인인 온도와 DO는 주로 요인 1과 요인 2에 나타나면서 서로 다른 요인적 특성을 나타내었다. 병원균성 오염지표인 대장균과 분변성대장균은 주로 요인 3의 인자로 추출되었다.

연도별 주성분분석에서 유기물부하인 BOD와 COD가 주로 요인 1에서 추출되었고, 온도와 DO는 요인 3에서, 병원균성 오염지표인 대장균과 분변성대장균은 연도별 환경특성에 따라 1996년을 제외하고 모든 연구대상연도에서 요인 2에서 추출되었다.

3.3. 군집분석

만경강수계에서 지점별, 연도별, 월별로 수질인자에 대한 수질변동에 미치는 유사성을 갖게 함으로써 각각에 대한 차이를 명확하게 하기 위하여 주성분분석에서 얻어진 요인점수(Factor Score)를 이용¹³⁾

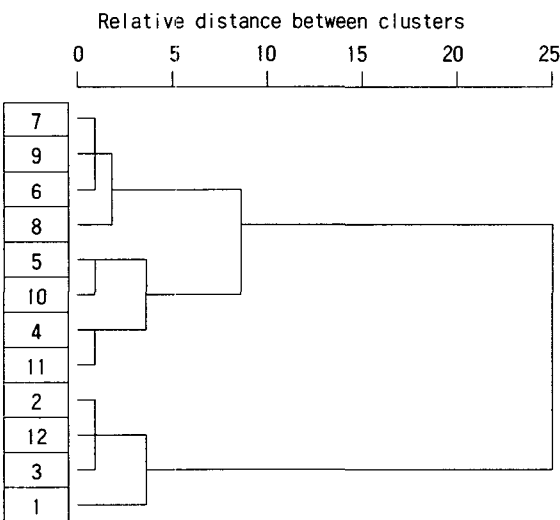


Fig. 7. Dendrogram of unweighted pair-group arithmetic average cluster analysis at month based on factor score.

하여 군집분석을 수행하였다. 지점별, 연도별, 월별로 분석된 결과를 Dendrogram으로 도식화하여 Fig. 6~8에 나타내었다.

일반적으로 상대적인 거리가 적을 수록 유사성이 크며, 클수록 유사성이 적음을 의미한다. 지점에 대한 군집분석에서 3개의 그룹으로 나타낼 수 있는데, 본류인 삼례천, 김제천과 지류인 전주천1과 소양천2

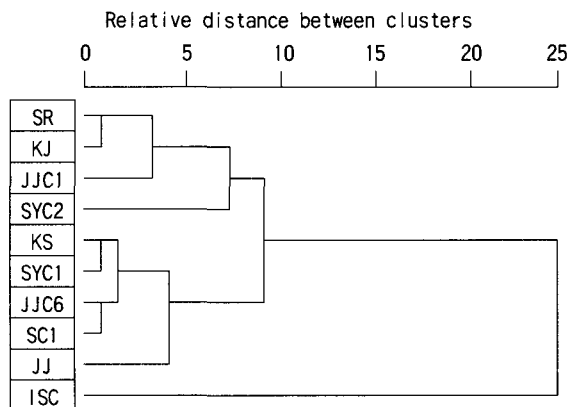


Fig. 6. Dendrogram of unweighted pair-group arithmetic average cluster analysis at station based on factor score.

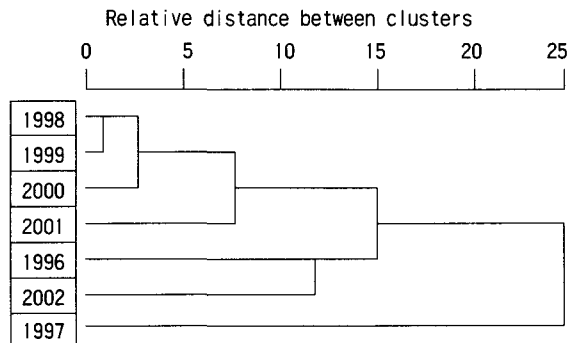


Fig. 8. Dendrogram of unweighted pair-group arithmetic average cluster analysis at month based on factor score.

가 그룹화 되었고, 본류인 고산천과 지류인 소양천1, 전주천 6, 삼천 1이 하나의 그룹을 형성되었고, 그리고 축산폐수의 영향이 매우 큰 익산천에서 독립적인 그룹으로 나타났다. 지점간 군집분석 결과 만경강수계의 지점간 수질특성을 잘 나타내고 있었으며, 특히 익산천이 다른 하천에 비하여 수질적 특성이 뚜렷이 다른 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

월별 군집분석 결과를 보면, 계절적 변동 특성을 잘 보여주고 있다. 상대적인 거리가 10 이하인 집단을 하나의 그룹으로 보았을 때, 동계에 해당되는 12월과 1월, 2월과 3월이 각각 하나의 그룹으로 구분되었고, 하계에 6월과 7월, 8월과 9월이 각각 그룹화되었으며, 춘계와 추계인 4월과 5월, 4월과 11월이 하나의 그룹으로 나뉘어졌다. 월별 군집특성에서 뚜렷한 수질적 차이는 동계에 나타나는 것을 알 수 있다.

연도별 군집분석에서 상대적인 거리가 10 이하일 경우 하나의 그룹으로 보았을 때, 1996년과 2002년이 그룹화 되었으며, 1998년부터 2000년까지가 하나의 그룹으로 나타났고, 1997년이 독립적으로 나타났다. 따라서 1997년의 하천수질이 다른 시기에 비하여 뚜렷히 다른 수질적 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

만경강수계의 수질특성을 평가하기 위하여 다변량해석 기법의 하나인 요인분석과 군집분석을 이용하여 자료를 해석한 결과는 다음과 같다.

만경강수계의 수질특성은 본류에서는 상류인 고산천에서 하류인 김제천으로 유하할수록 오염물질의 농도가 증가하는 경향을 보였다. 지류에서는 익산천이 타 지류보다도 높은 오염농도를 보이고 있다. 유기물오염을 나타내는 BOD는 본류에서는 김제천이 4급수의 수질을, 지류에서는 익산천이 5급수를 크게 초과하고 있었다.

요인분석 결과 수질특성의 설명은 유기물 오염변동과 영양염류 변동을 설명하는 요인 1이 43.28%, 생활하수에 의한 병원균성 오염을 의미하는 요인 2가 12.41%, 기후변동에 의한 계절적 변화를 설명하는 요인 3이 10.40%, 하천의 내부물질변화를 나타내는 요인 4는 8.81%로 나타나, 이들 요인에 의해 전체 수질특성의 74.90%를 설명할 수 있었다.

요인특점에 의한 주성분분석의 결과 인위적 오염인 유기물 오염의 영향을 많이 받는 지점은 지류인 전주천과 익산천이며, 연도별로는 1996년에 가장 많은 영향을 받았고, 월별로는 2월과 3월에 많은 영향을 받았다. 병원균성 오염의 영향을 많이 받는 지점은 지류인 소양천2와 익산천이며 연도별로는 1997

년~2000년에 많은 영향을 받았고, 월별로는 8월에 집중강우로 인해 많은 영향을 받았다.

요인특점에 의한 군집 분석의 결과 지점에 대한 군집분석에서 크게 3개의 그룹으로 구분되었고, 익산천이 다른 하천에 비하여 뚜렷한 수질적 차이를 나타내었다. 수질특성을 나타내고 월별 군집분석에서도 3개의 그룹으로 분류되어 계절적 변동특성을 보여주었다. 연도별 군집분석에서는 3개의 그룹으로 구분되었다.

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

참 고 문 헌

- 1) 전북대학교, 1999, 새만금연구사업단 만경강 상류유역의 기초 조사.
- 2) 이종식, 정구복, 김진호, 김복영, 1998, 경안천 수계의 농업용수로서 수질검토, 한국환경농학회지, 17, 136-139.
- 3) 이덕배, 이경보, 이경수, 1996, 호남지역의 시설원에 재배지 지하수 중 화학성분 변동요인조사, 한국환경농학회지, 15(3), 348-354.
- 4) 이경보, 이덕배, 이상복, 김재덕, 1999, 만경강 수계 농업용수의 시기별수질변화, 한국환경농학회지, 18(1), 6-10.
- 5) 中路勉, 港和行, 人江鎖三, 1979, 河川水質の統計學的研究(I)-長野縣內天龍川水質への多變量解析の適用-, J. of the faculty of Agri. Shinshu Univ., 16, 79-92.
- 6) 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, 14, 31-38.
- 7) 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.
- 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) 伊藤伸一, 宇都宮曉子, 節田節子, 1981, 多變量解析法の水質汚濁研究への應用-多摩川について-, 水質汚濁研究, 4(2), 91-95.
- 10) 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.
- 11) 大内晟, 1982, 廣島灣奥部における赤潮豫報研究の現状, 沿岸海洋ノト, 20(1), 33-42.
- 12) 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價, 用水と廢水, 30(3), 239-245.
- 13) 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.
 - 14) 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.*, 9-17pp.
 - 15) 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.
 - 16) Lee, M. K., J. H. Hwang and Y. K. Choi, 1996, Water Quality Evaluation on the Bottom Water of Masan Bay by Multivariate Analysis, *J. of Korean Env. Sci. Soc.*, 5(1), 15-23.
 - 17) 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.
 - 18) 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.
 - 19) Jang, J. H., 1999, A multivariate analysis of water quality characteristics in the Nakdong estuary, M.D. Thesis, Pukyung Nat'l Uni., 75-76pp.
 - 20) 환경부, 1996-2002, 환경강 분류 및 지류 측정망 자료, 수질보전국 자료실(www.me.go.kr).
 - 21) Shin, S. K., 1996, Water quality management considering autochthonous BOD in the Nakdong river, Ph.D. Thesis, Nat'l Fisheries Uni. of Pusan, 76-88pp.
 - 22) 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.