

영산강 수계 오염특성 파악을 위한 다변량 통계분석법의 적용

정수정 · 이동진 · 황경섭 · 이경희 · 최경축 · 임상순
이윤희 · 이재영 · 임병진*

(국립환경과학원 영산강물환경연구소)

Evaluation of Pollutant Characteristics in Yeongsan River Using Multivariate Analysis. Jung, Soojung, Dongjin Lee, Kyungsup Hwang, Kyounghee Lee, Kyoungchuk Choi, Sangsun Im, Yunhee Lee, Jaeyoung Lee and Byoungjin Lim* (Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Gwangju 500-480, Korea)

This study evaluated the water quality of Yeongsan River by multivariate analysis using the data collected during 2001~2010. Water quality in Yeongsan River could be explained up to 75.2% by four factors, which were included in loading of nutrients (32.021%) and organic matters (17.453%), seasonal variation (14.775%) and microbes (10.951%). The results of cluster analysis were classified into three groups by factor 1 and 2, which has different water quality characteristics. Group 1 included sampling stations located in the upper stream and estuary dyke of Yeongsan River, group 2 included Gwangju 1 and Gwangsan affected by domestic sewage of Gwangju-cheon, and group 3 included sampling stations located in the midstream around the livestock farm and farmland..

Key words : multivariate analysis, principal component analysis, factor analysis, cluster analysis

서 론

영산강은 오래 전부터 농업용수로의 기능을 만족시키기 위하여 관리되어 왔으며, 영산강 상류에 광주시와 같은 대규모 오염 배출원이 위치하고 있고 영산강 하구둑을 막음으로써 오염물질의 축적으로 인해 수질이 악화되고 있는 실정이다. 영산강은 낙동강 및 금강 등 다른 수계에 비하여 유역면적과 유출량이 작고 유로길이가 짧으며 기후여건 및 지형적 특성에 따라 강수량 및 하상계수가 높아 하천 유량변동이 심한 특성을 보이고 있다. 또한

상류에 4개의 농업용 댐이 위치하여 하천유지용수가 절대적으로 부족한 실정이며 하천고수부지 내 영농행위로 인한 농약, 비료, 분뇨, 오염물질 등이 유실된 토양과 함께 하천에 직접 유입되어 비점오염원이 수계 전체에 영향을 미치고 있는 실정이다. 또한 이러한 하천의 수질은 지류·지천을 통하여 유입되는 오염원, 하천의 수리수문학적 특성, 하천 퇴적물의 오염상태, 내부 물질대사, 계절적 요인 등이 복합적으로 상호 작용하여 나타나기 때문에 수질의 정확한 변동 특성을 파악하기에는 어려움이 많으며 (Kim *et al.*, 2002), 대부분 일부 유기물의 오염도를 이용하여 증감 경향을 산술적으로 비교 분석하는 정

* Corresponding author: Tel: 062) 970-3901, Fax: 062) 970-3999, E-mail: limbj@korea.kr

도에 그치고 있는 실정이다. 따라서 불확실한 수질자료 해석에 대한 오류를 줄이고자 최근 다변량 통계분석을 적용하여 수질인자들의 상관성 해석 및 수질변동의 영향 인자 파악을 위한 연구가 많이 이루어지고 있다.

다변량 통계분석은 차원 (dimension)을 줄이고자 하는 통계분석 체계라고 할 수 있으며, 복잡한 수질의 특성을 가지는 수계에 대한 수질 결정 요인을 해석하고 평가하기 위한 유용한 방법이라 할 수 있다. 크게 주성분분석, 요인분석, 회귀분석, 군집분석, 정준상관분석 등과 같은 여러 분석기법이 있으며, 이러한 분석 방법을 이용한 최근 국내·외 연구 결과는 요인분석 및 군집분석을 이용해 금강 수질 평가 (Kim et al., 2002), 확인적 요인모형을 이용하여 낙동강 오염특성 분석 (Kim et al., 2011), 요인 분석을 통해 남한강 상·하류 수계 주요하천의 유출특성 분석 (Park et al., 2011), 군집분석을 통해 한강수계 지천의 수질 평가 (Kim et al., 2011), New Jersey Passic river에 대하여 주성분분석을 통해 시·공간적 변화를 분석 (Karim et al., 2003)하는 등 많은 연구 결과가 보고되어지고 있다. 또한 Gomti river (India)의 수질 변화를 평가하기 위해 주성분 및 요인분석을 수행한 연구 결과 (Singh et al., 2004), Zhangweinan river (China)에 대한 군집분석 결과 등 다양한 연구 결과가 보고되고 있다 (Xu et al., 2012).

본 연구는 영산강수계의 수질변화 특성을 파악하기 위하여 수질항목 간 상관관계를 평가하였으며, 수질변동에 영향을 주는 주요한 요인을 분석하고, 공간적 군집분석으로 대상지점에 대하여 추출한 요인 별로 분류하여 수질 변동 특성이 몇 가지로 유형화되어 발생하는 지를 파악하여, 향후 보다 과학적이고 합리적인 수질관리를 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상 유역 및 연구 방법

본 연구에서 대상으로 하고 있는 영산강 수계는 전라남·북도의 경계를 형성하고 있는 유역으로 황룡강 및 지석천이 합류하면서 남서방향으로 유하하여 고막원천, 함평천과 합류하고 있으며, 유역면적은 3,467.83 km², 유로연장 136.66 km, 하천연장 1,083.04 km이다.

본 연구는 영산강 수계 본류 10개 지점을 대상으로 하였고 지점 위치는 Fig. 1에 나타내었다. 조사대상지점 중 광주1 지점 직전에 풍영정천이 합류, 광주 1과 광주 2 지

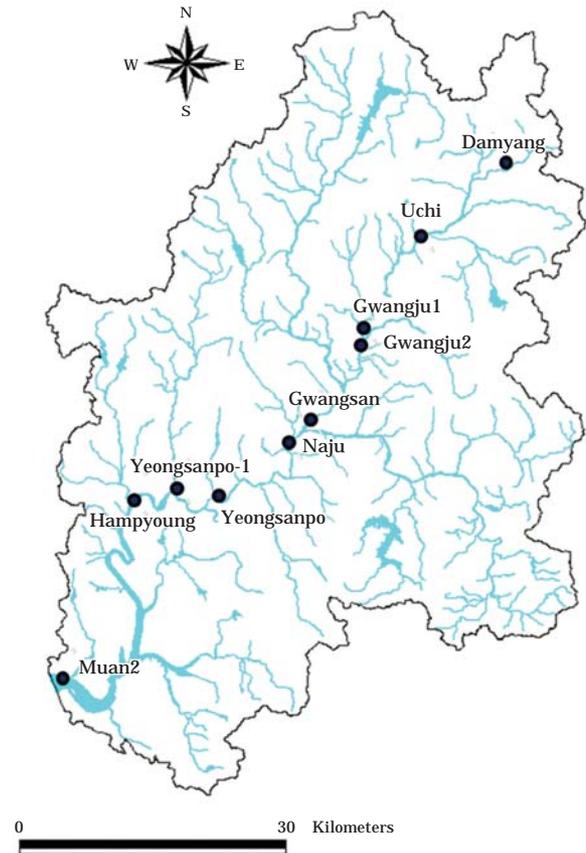


Fig. 1. Location of sampling points in the Yeongsan River.

점 사이에 광주천이 합류하고 있으며, 광산 지점은 황룡강 합류 후, 지석천 유입 전에 위치하고 있다. 또한 영산포-1 지점은 고막원천 합류전, 함평은 함평천 합류 후에 위치하고 있으며, 무안 2 지점은 영산강 하구언의 영향을 받는 영산호에 위치하고 있다. 이 중 우치, 광산, 영산포-1, 함평, 무안 2 지점은 직접 수질 조사를 수행하였고, 영산강 수계 전체적인 수질 오염특성을 파악하기 위하여 추가적으로 5개 지점 (담양, 광주 1, 광주 2, 나주, 영산포)에 대해서는 환경부 물환경정보시스템에 탑재된 월평균 수질측정자료를 이용하였다. 수질오염공정시험기준에 준하여 분석하였고, 분석항목은 pH 외 17개 항목이다.

2. 통계분석 방법

2001년부터 2010년까지 10년간의 수질 측정자료를 활용하여 통계처리프로그램인 SPSS (ver. 17.0)를 이용해 통계분석을 실시하였으며, 기본 상관성 분석 및 다변량 분석으로 요인분석과 군집분석을 하여 영산강 수계 수질특성을 파악하였다. 또한 계절별 특성을 파악하기 위하여

봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)로 구분하여 요인분석을 수행하였다.

1) 주성분분석 및 요인분석

주성분분석은 여러 개의 다변량 변수들의 분산-공분산 행렬을 이용하여 상관관계가 있는 변수들의 선형결합으로 표시되는 새로운 변수인 주성분(principal component)들을 찾고 이 중에서 중요한 몇 개의 주성분으로 전체 변동의 대부분을 설명하고자 하는 다변량 분석기법이다(Kim *et al.*, 2007). 주성분분석은 그 자체가 목적이라기보다는 일단 자료를 간단히 하여 추가적인 다른 통계분석을 하기 위한 사전분석으로 이루어지고 있다(Kim *et al.*, 2007).

요인분석은 변수들 간의 상호 연관성을 분석해서 공통적으로 내재된 요인(common factor)을 추출하여 전체 자료를 대변할 수 있는 변수의 수를 줄이는 기법으로 상관관계가 높은 변수들이 가지고 있는 공통성을 중심으로 하나의 동질적인 요인으로 묶어주는 분석방법이다.

요인패턴의 구조를 단순화시켜서 요인에 대한 해석을 보다 쉽게 하기 위해서 요인축을 회전시키며, 요인축을 회전하는 방법에는 크게 직교(orthogonal) 회전과 사각(oblique) 회전이 있다. 직교 회전은 회전 후 요인축이 직교하도록 하는 방법이고 사각회전은 회전 후 요인축이 직교할 필요가 없는 회전방법이다. 직교회전으로서 Varimax, Quartimax, Eqimax 등이 있는데, 본 연구에서는 요인 적재값이 가장 높은 변수의 수를 최소화하는 Varimax 회전방법을 적용하였다.

2) 군집 분석

본 연구에서 대상으로 하는 수질측정지점간의 수질변동경향의 유사성을 분석하기 위하여 군집분석(Cluster Analysis)을 수행하였다(Kannel *et al.*, 2007; Razmkhah *et al.*, 2010). 군집분석은 모집단에 대한 사전정보 없이 관측값들 사이의 거리나 유사성을 이용하여 자료 전체를 몇 개의 군집(cluster)으로 나누는 다변량 분석법으로 군집을 나누는 방법에 따라 계층적 방법과 비계층적 방법으로 나뉜다. 이 중 계층적 군집분석은 기준이 되는 대상들로부터 시작하여 개별대상 간의 거리를 기준으로 나무모양의 계층구조(dendrogram)를 상향식으로 형성해 가는 방법이다. 군집 대상간의 거리 측정은 모든 변수의 차이를 제공하여 합산해서 결정하는 유클리디안 제곱거리(Squared Euclidean distance) 방법을 적용하였고, 군집결합 방법은 집단간의 평균결합을 나타내는 Between-groups linkage를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 대상유역의 수질변화특성 및 상관성분석

영산강 수계 상류부터 하류까지 2001년부터 2010년까지 10년간의 수온, pH, DO, EC, BOD, COD, TN, TP, Chl-a, SS 농도 변화를 Sufer (ver. 10)를 이용하여 도식화하여 Fig. 2에 나타내었다. 수온은 2008년도에 가장 높게 나타났고 중류 구간에서 높은 경향을 보였으며, 전기전도도는 하구연의 영향으로 하류 구간에서 높게 나타났다. BOD 농도는 광주 1 지점과 광주 2 지점의 구간에서 가장 높은 농도를 나타냈고, 두 지점 사이에 유입되는 광주천의 영향을 크게 받고 있는 것으로 보이며, 황룡강과 지석천 등의 합류로 하류로 갈수록 수질이 개선되는 것을 알 수 있었다. 연도별 수질 경향은 강수량과 밀접한 관계가 있어 강수량이 적었던 2001년과 2008년에 수질이 악화되는 것으로 나타났다. 연도별 강수량 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 2006년의 경우는 연간 강수량이 많았음에도 불구하고 BOD 농도가 가장 높게 측정되었는데, 광주천 유입 후 측정 지점인 광주 2 지점에서의 BOD 농도가 1월에서 6월까지 매우 높은 농도로 측정되었고 이는 증가된 강우로 인해 광주천에 유입되는 비점오염원 및 도시하수의 영향을 크게 받았던 것으로 보인다. 도시지역에서 배출되는 비점오염물질은 단위면적당 오염부하가 다른 토지이용 특성에 비해 고농도의 유기물과 영양염류 등을 포함하고 있으며, 특히 도시화로 인한 불투수성 면적의 증가로 인하여 강우 시에는 일시에 대량의 비점오염원이 공공수역으로 유출되어 수질오염문제를 증대시킨다(Jin *et al.*, 2006). Jin *et al.* (2006)은 광주천의 유입지점에 대한 조사 결과 도시를 관통하는 합류식 하수관거이며 대부분이 불투수층으로 구성되어 있어 강우시 초기 오염물질 유출특성이 두드러지게 나타나는 것으로 보고하고 있다. 영산강 상류는 2007년 이후 BOD 농도가 증가, 하류는 2008년 이후 증가하는 경향을 보였으며, 2009년과 2010년은 중류 구간보다 하류인 영산포-1과 함평 지점에서 BOD 농도가 상승하는 경향을 보였다. COD 농도는 2009~2010년에 증가하는 경향을 보였으며, 하류로 갈수록 증가하였다. 이는 Chl-a 변동경향과 유사한 경향을 보이고 있으며, DO 농도 역시 2008년 이후 상승하여 조류 발생으로 인해 과포화 상태가 유지되고 있음을 알 수 있다. TN과 TP 농도는 2002년부터 2005년까지 높은 농도를 나타내고 있고 특히 광주 2 지점에서 가장 높은 농도를 보이고 있으며, 이러한 경향은 영산강으로 방류되는 광주하수처리장 처리수 및 광주천 합류의 영향으로 사료된다. 특히 Park *et al.* (2012)

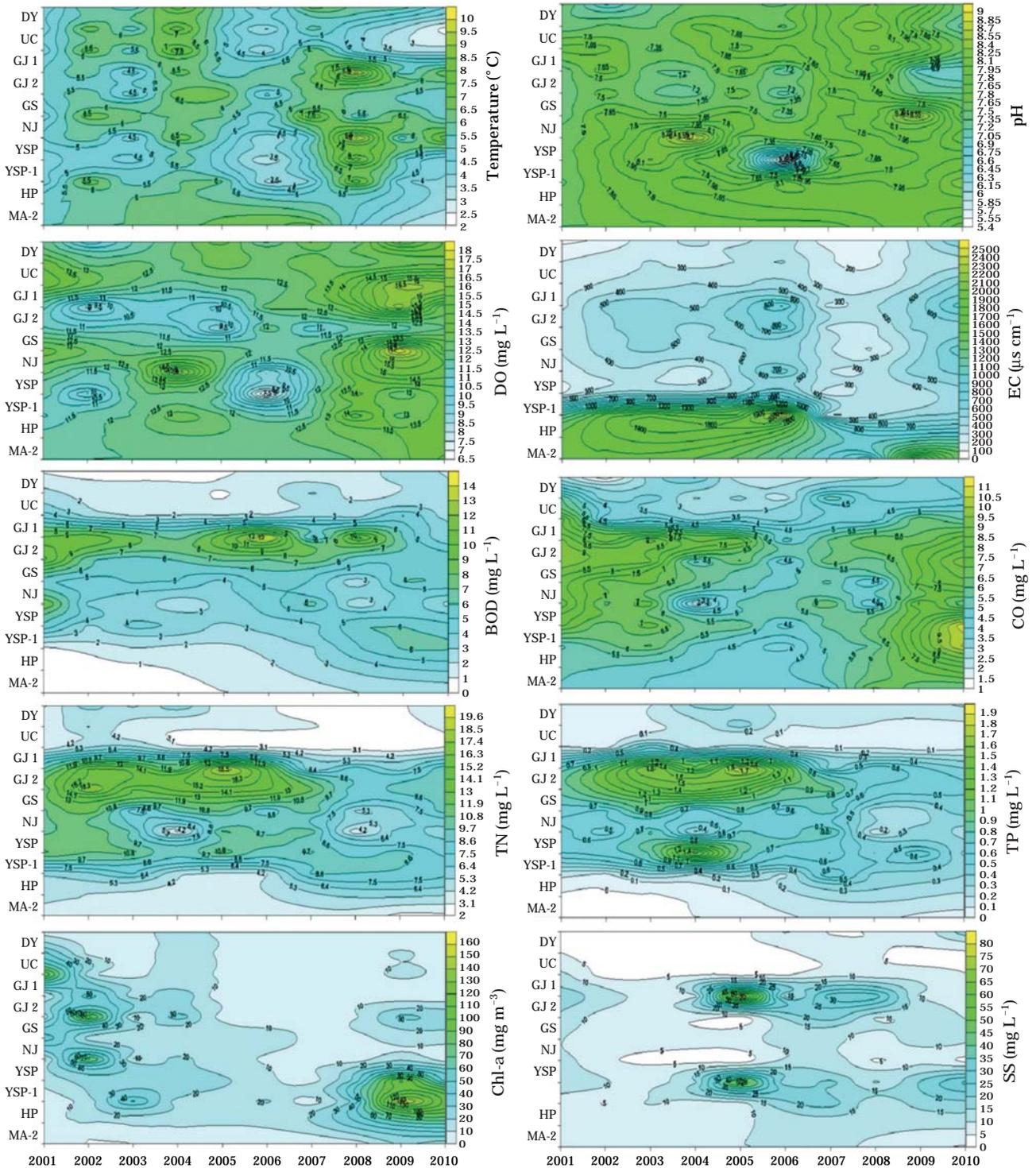


Fig. 2. Spatio-temporal variation of Temperature, pH, DO, EC, BOD, COD, TN, TP, Chl-a and SS.

에 의하면 광주하수처리장 처리수의 유입 유무에 따른 영산강 본류 수질을 3차원 수리 수질 모델을 이용하여 모의한 결과 광주하수처리장이 영산강 본류 수질에 상당한 영

향을 미치는 것으로 나타났다. 2006년 이후 농도 감소는 수질오염총량제 추진에 따른 수질 개선 효과로 판단되며 (Song et al., 2012), Park et al. (2009) 역시 수질오염총량

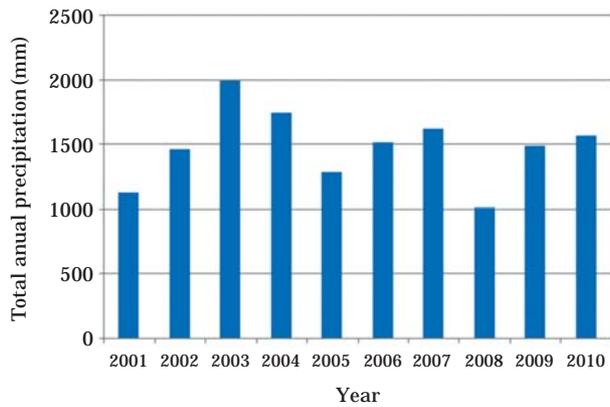


Fig. 3. Total annual precipitation during the study period.

제 시행 전과 후의 수질을 비교한 결과 다른 수계에 비해 영산강 수계의 수질개선효과가 가장 큰 것으로 보고하였다. 또한 다른 수질항목에 비해 COD의 수질개선이 나타나지 않는 이유는 대부분의 하수처리시설의 주요한 처리공정이 생물학적 처리공정으로 난분해성 유기물의 처리에는 한계를 나타내고 있기 때문으로 보여진다(Park *et al.*, 2011). 그리고 중류 유역 인근에 비점오염원인 농경지 분포 및 소규모 양식장의 영향, 여러 오폐수 처리장으로부터 농공폐수 유입 영향도 클 것이다(Kang *et al.*, 2006).

수질인자간의 관련성을 평가하기 위해 18개 수질항목에 대한 상관분석을 실시한 결과를 Table 1에 나타내었다. BOD와 다른 수질항목과의 상관관계는 T-N과 0.628 ($p < 0.01$), T-P와 0.695 ($p < 0.01$)로 높게 나타났다. Chl-a는 다른 수질항목과 낮은 상관성을 보이고 있으며, COD와 상관계수가 0.460 ($p < 0.01$)로 가장 높은 상관성을 보였고, 이는 Song *et al.* (2012)의 연구 결과와도 유사한 결과이며, 무기영양염을 먹이로 한 조류의 증식이 유기물의 공급원으로 크게 영향을 미치는 것으로 보여진다. 수온과 DO의 상관계수는 -0.719 ($p < 0.01$)로 음의 상관성을 나타내어 온도가 높을수록 산소의 용해도가 낮아지는 전형적인 경향을 나타냈다. 유기물오염지표인 BOD와 COD, TOC 간의 상관계수는 각각 0.598 ($p < 0.01$), 0.691 ($p < 0.01$)이며, COD와 TOC와의 상관계수는 0.721 ($p < 0.01$)로 나타나 비교적 높은 양(+)의 상관성을 보였고, 영산강 수계에서 유기오염물질 지표 간 상관성이 비교적 높게 나타남을 확인할 수 있었다. Park *et al.* (2011)의 남한강 유역의 주요 하천에 대한 연구 결과에서는 SS와 COD, TP와의 상관성이 높게 나타난 것에 비해, 본 연구에서는 SS는 다른 수질항목과 매우 낮은 상관성을 나타내었다. Kim *et al.* (2007)에 의하면 금강 수계에서는 BOD와 COD, TN, TP, Chl-a는 0.9 이상의 높은 양의 상관성 ($p < 0.01$)을 나

Table 1. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters.

	Temp	pH	DO	BOD	COD	EC	T-N	DTN	NO ₃ -N	NH ₃ -N	T-P	DTP	PO ₄ -P	SS	Chl-a	TOC	Coli	Fcoli
Temp	1																	
pH		1																
DO			1															
BOD				1														
COD					1													
EC						1												
T-N							1											
DTN								1										
NO ₃ -N									1									
NH ₃ -N										1								
T-P											1							
DTP												1						
PO ₄ -P													1					
SS														1				
Chl-a															1			
TOC																1		
Coli																	1	
Fcoli																		1

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed), * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

Table 2. Initial eigenvalues and selected factor loading after Varimax rotation.

Component	Initial eigenvalues			Rotation sums of squared loadings		
	Total	% of variance	Cumulative %	Total	% of variance	Cumulative %
1	7.088	39.376	39.376	5.764	32.021	32.021
2	3.172	17.623	56.999	3.142	17.453	49.474
3	1.967	10.931	67.929	2.660	14.775	64.249
4	1.309	7.270	75.200	1.971	10.951	75.200
5	.957	5.316	80.515			
6	.710	3.947	84.462			
7	.596	3.312	87.774			
8	.559	3.103	90.877			
9	.413	2.295	93.172			
10	.354	1.967	95.139			
11	.283	1.574	96.713			
12	.192	1.068	97.781			
13	.153	.850	98.631			
14	.103	.574	99.205			
15	.057	.319	99.524			
16	.042	.234	99.758			
17	.028	.154	99.912			
18	.016	.088	100.000			

타내고 있으며, 낙동강 수계는 BOD와 Chl-*a*의 상관계수는 0.860으로 높은 상관성을 보였으나 TN, TP와는 매우 낮은 상관성을 보이는 것으로 보고했다(Kim *et al.*, 2007).

2. 주성분 분석 및 요인 분석

18개 수질항목을 대상으로 조사된 측정자료를 이용하여 주성분 분석을 실시하였고 주성분 수를 결정하기 위해 본 연구에서는 요인을 설명하는 분산의 크기를 나타내는 고유치(eigenvalue)가 1.0 이상인 값을 갖는 주성분 축만을 고려하였다. 고유치는 요인을 설명하는 분산의 크기를 나타내며 고유치가 1.0 이하인 경우는 1개의 요인이 변수 1개의 분산을 설명할 수 없으므로 요인으로서 의미가 없기 때문에 제외하였고 1.0 이상이 되는 4개의 요인을 추출하였다. 주성분 분석 결과 18개 요인에 대한 고유치와 수질에 미치는 기여율을 Table 2에 나타내었다. 주성분 전체 수질변동에 대하여 75.2%를 설명하고 있으며, 이중 제1요인은 32.021%, 제2요인이 17.453%, 제3요인이 14.775%, 제4요인이 10.951%를 기여하고 있다. 주성분분석을 통하여 요인을 추출한 후 요인별 점수를 산정하는 요인분석을 실시한 결과를 Table 3과 Fig. 4에 나타내었다. 제1요인은 DTN, T-N, PO₄-P, T-P, DTP, NH₃-N, NO₃-N가 양(+)의 높은 요인부하량을 보여 영산강수계에 유입되는 영양염류와 관련된 오염물질요인의 영향을 나타내는 주성분으로 설명할 수 있다. 이는 영산강이 광주시와 같은 도시지역을 통과하면서 유입되는 도시하수 및

Table 3. Rotated component matrix by factor analysis.

Variable	Component			
	1	2	3	4
DTN	.915	.150	.114	-.025
T-N	.902	.094	.066	-.087
PO ₄ -P	.884	.210	-.170	.128
T-P	.881	.301	-.208	.112
DTP	.832	.200	-.193	.174
NH ₃ -N	.762	.330	.165	.173
NO ₃ -N	.761	.158	.355	-.017
COD	.295	.848	-.152	.045
TOC	.148	.810	-.097	.235
Chl- <i>a</i>	.243	.757	.050	-.305
BOD	.534	.748	-.049	.178
DO	.215	.058	.864	-.257
Temp	-.332	.036	-.839	.042
EC	-.206	-.050	.664	-.087
SS	.173	.301	-.511	-.035
Fcoli	.090	.209	-.082	.817
Coli	.065	.015	-.055	.768
pH	-.105	.390	.423	-.598

영산강에 합류되는 광주천의 유지용수 유지를 위해 방류되는 하수처리수의 영향을 크게 받는 것으로 보여진다. 제2요인은 COD, TOC, Chl-*a*, BOD가 높은 요인부하량을 나타내어 유기물 및 조류 증식에 따른 물질대사 요인이 큰 영향을 미치고 있다고 해석할 수 있다. 이들 오염물질과 모두 양(+)의 상관관계를 나타내어 외부오염원 유입에 의한 영향을 크게 받고 있는 것으로 보인다. 제3요인

은 DO, 수온, 전기전도도, SS이며, 특히 DO와 양(+)의 높은 상관관계, 수온과 음(-)의 높은 상관관계를 나타내 계절적 변동 요인으로 설명할 수 있다. 수온 증가에 따른 DO의 감소, 강우시 하천으로 유입되는 부유물질 및 이에 따른 DO의 변동에 의한 영향으로 보여진다. 제 4요인은

분원성대장균군, 총대장균군, pH가 추출되어 미생물 요인으로 설명할 수 있으며, 광주 지역을 통과하는 풍영정천, 도시생활하수가 유입되는 광주천 등과 같은 도심 하천의 유입 및 영산강 주변 축산농가에 의한 영향을 크게 받고 있는 것으로 보인다. Park et al. (2012)의 연구 결과 역시 영산강 수계의 수질 특성은 유기물 및 영양염류 관련 요인에 의한 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. Kim et al. (2011)은 한강 수계 중 인구과밀지역 인근에 위치하고 하수처리방류수가 하천 유량의 대부분을 차지하고 있는 지천에 대해 요인분석을 실시한 결과 1요인은 영양염류와 유기물요인으로 분류되어 본 연구와 유사한 결과를 나타내고 있다.

계절별 탐색적 요인분석 결과를 Tables 4와 5에 나타내었다. 봄과 여름은 전체 측정지점 요인분석 결과와 거의 유사하게 제 1요인은 영양염류 요인, 제 2요인은 유기물 및 물질대사요인, 제 3요인은 계절적 요인으로 나타났다. 가을의 경우 제 1요인의 변수가 질소, 인 등의 영양염류 요인 이외에 COD가 추가되었고, 제 2요인은 조류 증식과 관련된 인자인 pH, Chl-a와 미생물 요인 (Coli, Fcoli)으로 나타났으며, 제 3요인은 수온, DO와 같은 계절적 요인으로 추출되었다. 겨울은 제 1요인은 다른 계절과 동일하게 영양염류 요인, 제 2요인 변수는 SS, Chl-a, 유기물 관련

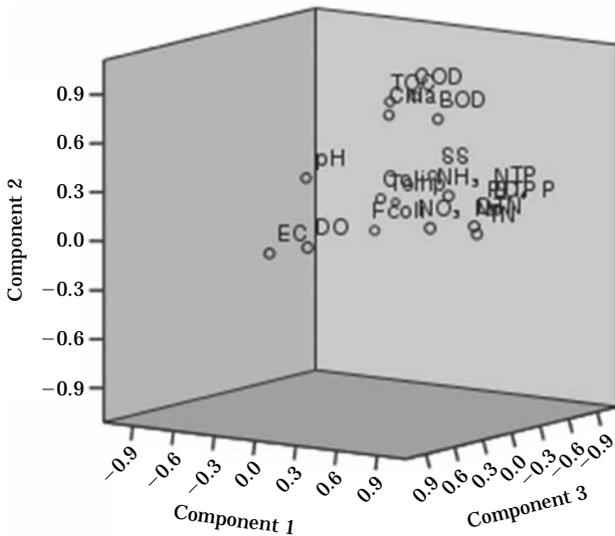


Fig. 4. Component plot in rotated space.

Table 4. Initial eigenvalues and selected factor loading after Varimax rotation by season.

Component	Initial eigenvalues			Rotation sums of squared loadings		
	Total	% of variance	Cumulative %	Total	% of variance	Cumulative %
(a)	1	7.815	43.416	5.433	30.183	30.183
	2	3.350	18.610	3.322	18.455	48.638
	3	2.048	11.378	2.563	14.237	62.875
	4	1.210	6.725	2.136	11.869	74.744
	5	1.091	6.060	2.060	11.446	86.189
(b)	1	5.698	31.656	4.555	25.306	25.306
	2	3.580	19.890	3.219	17.881	43.187
	3	2.248	12.491	2.467	13.704	56.891
	4	1.558	8.656	1.913	10.627	67.517
	5	1.244	6.913	1.626	9.032	76.549
	6	1.057	5.875	1.608	8.932	85.482
(c)	1	7.695	42.750	6.800	37.775	37.775
	2	2.624	14.575	2.394	13.302	51.077
	3	1.790	9.945	2.115	11.749	62.826
	4	1.622	9.010	2.027	11.258	74.084
	5	1.030	5.725	1.426	7.921	82.005
(d)	1	8.555	47.529	6.385	35.470	35.470
	2	2.737	15.205	3.635	20.195	55.665
	3	1.835	10.194	2.923	16.239	71.903
	4	1.105	6.140	1.290	7.165	79.069

(a) spring, (b) summer, (c) fall, (d) winter

Table 5. The principal component extracted from factor analysis.

	Component					
	1	2	3	4	5	6
(a)	DTN, T-N, NO ₃ -N, NH ₃ -N, T-P, PO ₄ -P, DTP	COD, Chl- <i>a</i> , TOC, BOD	Temp, DO	Fcoli, Coli	EC, SS, pH	-
(b)	PO ₄ -P, T-P, DTP, T-N, NO ₃ -N, DTN, NH ₃ -N	TOC, COD, Chl- <i>a</i> , BOD	EC, DO, pH	Temp	Coli	Fcoli, SS
(c)	T-P, PO ₄ -P, DTP, DTN, T-N, NH ₃ -N, NO ₃ -N, COD	pH, Chl- <i>a</i> , Coli, Fcoli	Temp, DO	EC, TOC, BOD	SS	-
(d)	PO ₄ -P, DTN, T-N, DTP, T-P, NH ₃ -N, NO ₃ -N	SS, Chl- <i>a</i> , TOC, BOD, COD, Temp	Coli, Fcoli, DO	pH, EC	-	-

(a) spring, (b) summer, (c) fall, (d) winter

인자 및 수온으로 추출되었고, 제 3요인은 미생물 요인과 DO로 추출되었다. 4계절 모두 영양염류 요인이 제 1요인으로 분석되었고, 계절에 상관없이 영산강에 유입되는 영양염의 농도가 수질에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

3. 군집분석

조사대상 지점에 대한 군집분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 요인분석 결과로부터 추출된 제 1요인(영양염 요인)과 제 2요인(유기물 및 물질대사 요인)에 대하여 군집분석을 실시하였다. Fig. 3(a)의 덴드로그램은 제 1요인(DTN, T-N, PO₄-P, T-P, DTP, NH₃-N, NO₃-N)에 대한 각 지점간의 관계를 거리로 도식화한 것으로 상대적 거리 5 이하에서 3개의 그룹으로 분류할 수 있었다. 영산강 상류(담양, 우치, 광주 1) 및 하구언(무안 2)에 위치하는 지점과 같이 오염도가 낮은 지점이 1 그룹으로 분류되었다. 영산강 중류에 위치한 오염도가 가장 높은 광주 2와 광산 지점이 2 그룹으로 분류되었는데 도시생활하수가 유입되는 도심하천인 광주천의 합류 및 하수처리장 방류수가 수질에 미치는 기여도가 큰 유역으로 구분할 수 있다. 영산강 중·하류 유역에 위치하는 지점(나주, 영산포, 영산포-1, 함평)과 영산강 상류 광주천 합류 전 지점인 광주 1 지점이 3 그룹으로 분류되었고 농경지 및 축산 농가 등이 유역 인근에 위치하는 특성을 보이고 있다. 영양염 요인에 대한 군집분석 결과는 광주천과 합류하는 지점을 경계로 상류와 하류, 즉 도시유역과 농촌유역의 특성이 뚜렷하게 구분됨을 알 수 있었다. 영산강 유역은 농업폐수 및 생활하수 등의 오염원의 비율이 상대적으로 높아 다른 수계에 비해 영양염이 상당히 높게 나타나고(Song *et al.*, 2012), 농경지에서의 영양염 농도는 도시 지역보다 더 높게 유출된다는 연구 결과도 보고되고 있다(Jung *et*

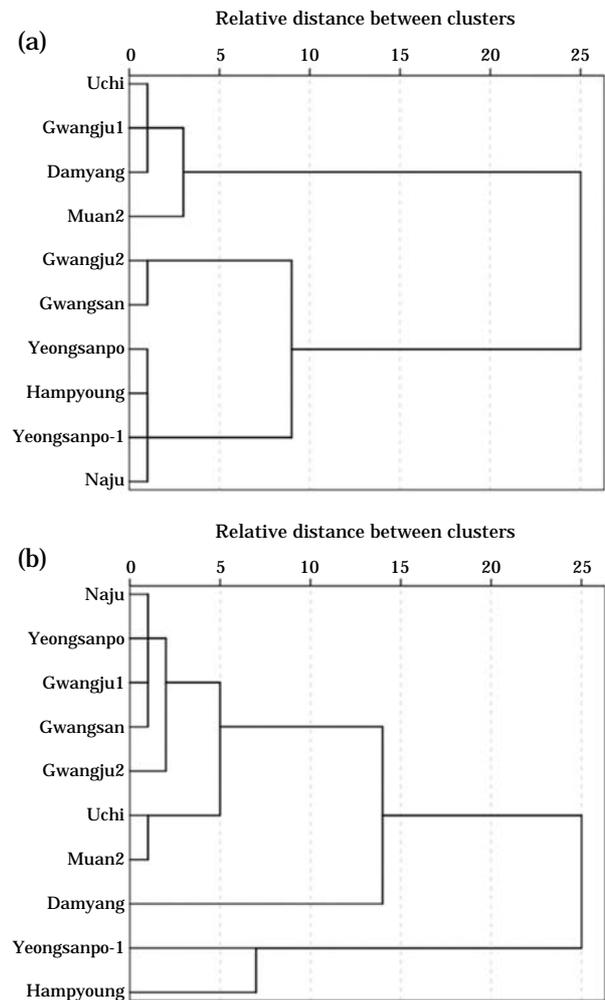


Fig. 5. Dendrogram for the sampling sites resulted from cluster analysis by factor 1 (a) and factor 2 (b).

al., 2012). 제 2요인(BOD, COD, Chl-*a*)에 대한 군집분석 결과를 Fig. 3(b)에 나타내었다. 영산강 중류 유역에 위치

한 5개 지점(나주, 영산포, 광주 1, 광산, 광주 2)이 1 그룹으로 분류되었고, 영산강 상류에 위치한 우치와 하구언 지점인 무안 2가 제 2그룹, 조사대상지점 중 가장 상류에 위치한 담양 지점이 독립적인 3그룹, 중·하류 유역에 위치한 영산포-1, 합평 지점이 4그룹으로 분류되었다. Kim *et al.* (2011)에 의하면 한강 수계 지천에 대한 군집분석 결과 도시와 농촌, 산업체가 복합된 유역, 하수처리장 방류수 기여도가 높은 도심하천 유역, 공장폐수 영향이 큰 유역, 청정 유역의 4개 그룹으로 분류되어, 본 연구와 유사한 결과를 보고하였다. Shen *et al.* (2011)에 의하면 중국 Cao-E river 22개 지점에 대하여 군집분석 결과 비점 오염원 유입 지역, 도시 지역, 혼합 오염원 유입 지역의 3개 그룹으로 분류되었고 주변 오염원 특성 및 토지이용 현황 등에 따라 수질 특성이 달라지는 것으로 보고하였으며, Shrestha *et al.* (2007)의 연구 결과 역시 수질오염도 및 도시하수 등의 영향 여부에 따라 그룹이 분류되는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 제 1오인과 제 2오인에 대한 군집분석 결과로부터 영산강의 주요 오염원인 광주천, 도시 하수 및 광주하수처리장 처리수에서의 질소 및 인 농도가 영산강 수질에 미치는 영향이 매우 크며, 오염도가 높은 영산강 중·하류 유역은 비슷한 수질 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

적 요

본 연구는 영산강수계 수질 특성을 파악하기 위하여 2001~2010년까지 영산강 본류 10개 지점의 수질측정자료를 활용하여 총 18개 수질항목에 대하여 다변량분석법을 이용하여 수질항목간의 상관관계 및 요인분석, 군집분석을 수행하였다. 수질항목간 상관성은 BOD는 T-N, T-P와 높은 양의 상관성을, Chl-*a*는 COD와 유의한 양의 상관성을 보였다. 요인분석 결과 제 1요인이 영양염류요인(32.021%), 제 2요인이 유기물 및 조류증식에 따른 물질대사 요인(17.453%), 제 3요인이 계절적 변동요인(14.775%), 제 4요인이 미생물요인(10.951%)으로 추출되었다. 요인분석 결과로부터 추출된 제 1요인과 제 2요인에 대한 군집분석 결과, 오염도가 낮은 그룹, 광주천 및 하수처리수 방류의 영향이 큰 오염도가 높은 그룹, 축산농가 및 농경지 등이 인근에 분포하는 그룹 등 3 그룹으로 분류되었다.

인 용 문 헌

Jin, Y.H. and S.C. Park. 2006. Study on the discharge char-

acteristics of non-point pollutant source in the urban area of the Yeongsan river basin. *Journal of Korean Society on Water Environment* **22**(4): 605-613.

Jung, S.M., J.S. Eum, C.W. Jang, Y.S. Choi and B.C. Kim. 2012. Characteristics of nonpoint source pollution and relationship between land use and nutrient concentrations in the Han River watershed. *Journal of Korean Society on Water Environment* **28**(2): 255-268.

Kang, S.A. and K.G. Ahn. 2006. Spatio-temporal variation analysis of physic-chemical water quality in the Yeongsan-river watershed. *Korean Journal of Limnology* **39**(1): 73-84.

Kannel, P.R., S.H. Lee, S. Kanel and S.P. Khan. 2007. Chemometric application in classification and assessment of monitoring locations of an urban river system. *Analytica Chimica Acta* **582**: 390-399.

Karim, B. and F.M. Taha. 2003. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. *Journal of Hazardous Materials* **100**: 179-195.

Kim, G.A., Y.J. Kim, M.J. Song, K.W. Ji, P.J. Yu and C.W. Kim. 2007. Evaluation of water quality characteristics in the Nakdong River using multivariate analysis. *Journal of Korean Society on Water Environment* **23**(6): 814-821.

Kim, J.K. 2002. Evaluation of water quality in the Kuem River using statistics analysis. *Journal of the Environmental Sciences* **11**(12): 1281-1289.

Kim, M.A., J.K. Lee and K.D. Cho. 2007. Evaluation of the Guem River by multivariate analysis: Principle component analysis and factor analysis. *Journal of Korean Society on Water Environment* **23**(1): 161-168.

Kim, M.A., T.G. Kang, H. Lee, Y.N. Shin and K.H. Kim. 2012. Analysis of pollutant characteristics in Nakdong River using confirmatory. *Journal of Korean Society on Water Environment* **28**(1): 84-93.

Kim, Y.J. and H.G. Kim. 2007. Environmental statistics. Dongwha.

Kim, Y.Y. and S.J. Lee. 2011. Evaluation of water quality for the Han River tributaries using multivariate analysis. *Journal of KSSE* **33**(7): 501-510.

Ministry of Environment, Water Information System. <http://water.nier.go.kr/>.

Park, J.H., D.H. Rhew and D.I. Jung. 2011. Water quality status of the unit watersheds in the Yeongsan/Seomjin river basin since the management of total maximum daily loads analysis- Case study of the upper and lower watershed of South Han River. *Journal of Korean Society on Water Environment* **27**(5): 719-728.

Park, J.H., J.D. Park, D.H. Rhew and D.I. Jung. 2009. Per-

- formance appraisal of total maximum daily loads: Performance on development/reduction plan and water quality status of unit watershed. *Journal of Korean Society on Water Environment* **25**(4): 750-751.
- Park, J.H., S.M. Sohn and D.H. Rhew. 2011. A study on the discharged characteristics of the pollutants using the empirical equation and factor analysis- Case study of the upper and lower watershed of South Han River. *Journal of Korean Society on Water Environment* **27**(6): 905-913.
- Park, J.S. and K.H. Rhee. 2012. Study on characteristics of water quality variation in the Yeongsan river using multivariate analysis. *Journal of Korean Society of Water Science and Technology* **20**(2): 61-72.
- Park, L.J., C.M. Shin, K.S. Shin, J.H. Min and E.H. Na. 2012. Analysing impacts of Gwangju WWTP effluents quality in Yeongsan river. *Korean Water Congress 2012 of Korean Society on Water Environment* 750-751.
- Razmkhah, H., A. Abrishamchi and A. Torkian. 2010. Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition: A case study on Jajrood river (Tehran, Iran). *Journal of Environmental Management* **91**: 852-860.
- Shen, Y., J. LU, D. Chen and Y. Shi. 2011. Response of stream pollution characteristics to catchment land cover in Cao-E river basin, China. *Pedosphere* **21**(1): 115-123.
- Shrestha, S. and F. Kazama. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software* **22**: 464-475.
- Singh, K.P., A. Malik, D. Mohan and S. Sinha. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)-a case study. *Water Research* **38**: 3980-3992.
- Song, E.S., S.M. Jeon, E.J. Lee, D.J. Park and Y.S. Shin. 2012. Long-term trend analysis of chlorophyll *a* and water quality in the Yeongsan river. *Korean Journal of Limnology* **45**(3): 302-313.
- Xu, H.S., Z.X. Xu, W. Wu and F.F. Tang. 2012. Assessment and spatiotemporal variation analysis of water quality in the Zhangweinan River basin, China. *Procedia Environmental Sciences* **13**: 1641-1652.

(Manuscript received 28 July 2012,

Revised 25 September 2012

Revision accepted 18 November 2012)