다변량 분석법을 이용한 섬진강 수계의 수질 특성 연구

박진환 · 문명진 · 이형진 · 김갑순[†]

국립환경과학원 영산강물환경연구소

A Study on Characteristics of Water Quality using Multivariate Analysis in Sumjin River Basin

Jinhwan Park · Myungjin Moon · Hyungjin Lee · Kapsoun Kim[†]

Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received 26 November 2013, Revised 3 February 2014, Accepted 5 February 2014)

Abstract

The objective of this study is to evaluate and analyze Sumjin River Basin water environment system. It was necessary to improve the water quality. The data were collected from 2010 January to 2012 December including Water Temperature, pH, DO, EC, BOD₅, COD, TOC, SS, T-N, T-P. The data were used to study were required to; Correlation Analysis; Principle Component Analysis; Factor Analysis. The results were as followed. According to correlation analysis on BOD₅ against COD, TOC it revealed that the each value of correlation coefficient were 0.715 and 0.719; it means the strength of the relationship is strong. The same analysis on T-P against BOD₅, COD, TOC, SS has revealed that the range of the correlation coefficient value fell between 0.482 and 0.608 which means strength of the relationship between them remained normal. Through correlation analysis, it has been found that all elements except T-N have high correlation. The results of principal component analysis to target the overall water quality were extracted to three main components. The cumulative contribution rate is 68.990%. In the case of seasonal water quality, Spring and Summer are extracted to each of four main components. The cumulative contribution rate is 81.515% and 73.550% respectively. Fall and Winter are extracted to each of three main components. The cumulative contribution rate is 65.072% and 72.721% respectively. There is no seasonality in the case of factor analysis. The first common factor is BOD₅, COD, TOC, SS, T-P, which were classified. Totally speaking, Sumjin River Basin water system gets highly affected by the nutrient salts, organic matter and suspended solid at the same time.

Key words : Factor analysis, Principle component analysis, Sumjin river basin, Water quality

1. Introduction

인구의 증가와 각종 산업이 급격히 발달되고 동시에 하천의 오염으로 인한 문제가 심각해지고 있다. 이처럼 산업 폐수가 도심하천으로부터 유입이 되고, 농경지와 축산 농가 및 산지로부터 발생된 오염물질이 하천에 큰 영향을 주어 자정능력 범위를 초과하게 되고 수질의 오염이 더욱 증가하게 된다(Rim, 1999). 하천 수질은 유입되는 지류로부터 오염부하, 수문학적 특성, 퇴적물 및 수체내 물질대사, 계절적 요인 등이 상호작용하여 결정되기 때문에 수질 변화의 특성을 파악하기에는 한계가 있으며, 시·공간적으로 변화하는 특성을 지니게 된다(Park et al., 2011). 따라서 효율적인 수질 관리를 위하여 주된 오염인자를 합리적으로 산출하고 신뢰성 있는 수질자료의 해석을 지원하기 위해서는 다변량 분석법을 이용하여 수질관리를 수행할 필요가 있다. 이러한 통계분석 기법은 하천 및 호소의 수질 특성을 평가

하고 수질 정책을 위한 방법으로 많이 활용하였으며(Lee and Kwon, 2009; Oh et al., 2004; Seymour et al., 2004; Simeonov et al., 2003; Yu et al., 2003), 농촌유역과 지하수의 수질특성 평가를 위한 방법으로 많은 연구들이 수행되었다(Kim, Choi et al., 2007; Kim et al., 2008). 또한 영산강을 비롯하여 한강, 금강, 낙동강 등에서 다변량 해석기법을 이용한 연구가 활발히 진행되어 왔다(Jung et al., 2013; Jung, Lee et al., 2012; Kim, Kim et al., 2007; Kim et al., 1998; Kim, Lee et al., 2007; Kim and Lee, 2011). 그러나 아직까지 섬진강 수계를 대상으로 수행된 연구는 부족한 실정이며, 본 연구에서는 다변량 분석기법의 상관분석(Correlation Analysis)과 주성분분석(Principle Component Analysis) 및 요인분석(Factor Analysis)을 통해 수질인자간의 상관성과 수질 특성을 파악하였으며, 향후 섬진강 수계의 수질변동에 대해 능동적으로 대처할 수 있는 보다 과학적이고 합리적인 수질관리정책 수립을 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
ks5825@korea.kr

2. Materials and Methods

2.1. 연구 대상 유역

섬진강은 남해안 중서부에 위치하며 동경 126° 52' ~ 127° 53', 북위 34° 40' ~ 35° 50' 사이에 위치하며, 유역면적이 4,960 km²로 우리나라에서 4번째로 큰 유역을 가지고 있다. 전반적으로 산지 지형이 우세하며 특히 이 유역의 동측에 위치한 지리산은 높은 고도의 거대한 산체를 이루면서 곧바로 본류와 접하고 있는 것이 특징이다. 유역의 본류 및 보성강을 비롯한 지류들이 비교적 좁게 계곡을 따라 흐르며, 유역의 본류가 지나가는 남원과 구례 등 일부 지역을 제외하고는 평야지대의 분포가 매우 협소한 지역이다. 유역 내의 행정구역으로는 전라북도의 정읍시, 남원시, 진안군, 장수군, 임실군, 순창군, 전라남도의 순천시, 광양시, 담양군, 곡성군, 구례군, 화순군, 보성군, 장흥군, 경상남도의 하동군을 포함하여 3개의 도와 4개의 시 그리고 11개 군으로 이루어져 있고, 도별 유역 편입율은 전라남도 47%, 전라북도 44%, 경상남도 9%이다. 주요지류는 섬진강 수계에서 제일 큰 지류로 국가하천인 보성강이 유입되며 전라북도 남원시 송동면 세전리 지점에서 섬진강 본류의 좌안으로 유입하는 국가하천인 요천이 흐른다(NIER, 2012). 본 연구의 모니터링 지점은 총량관리 단위유역 말단부로서 섬진강수계 내의 본류 지점과 본류로 유입되는 지류 지점이며, 본류 구간의 섬본A(SA), 섬본B(SB), 섬본C(SC), 섬본D(SD), 섬본E(SE)지점과 추령A(CA), 오수A(OA), 요천A(YA), 요천B(YB), 보성A(BA), 동복A(DA), 보성B(BB)의 지류 구간으로서 총 12개 지점이다(Fig. 1).

Fig. 1. Location of study sites and monitoring point.

2.2. 자료수집 및 수질 특성 분석

본 연구의 12개 모니터링 지점에 대한 수질조사는 2010년 1월부터 2012년 12월까지 3년간 유역 출구 지점에서 평균 8일 간격으로 실측된 수질 자료를 이용하였다. 현장 측정항목은 Water Temperature (WT), pH, Electric Conductivity (EC), Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Suspended

Solid (SS), Total Nitrogen (T-N), Total Phosphorus (T-P), Total Organic Carbon (TOC)의 수질 시료 채취와 분석은 수질오염공정시험기준에 준하여 분석하였다. 수질 특성 분석을 위한 각 측정지점의 통계학적 특성치는 Table 1과 같으며, 수질항목별 결과를 최소값, 최대값, 1사분위수, 3사분위수, 중앙값을 상자그림(Box-Plot)으로 나타내었다(Fig. 2).

2.3. 상관분석

본 연구에서의 모든 통계분석은 SPSS(ver. 18.0) 프로그램을 이용하였으며, 상관분석은 변수간의 관련성을 분석하기 위하여 두 변수간의 선형적인 상관관계를 파악하는 것으로 한 변수가 다른 변수와의 관련성이 있는지 여부와 관련성이 있다면 어느 정도의 관련성이 있는지를 알고자 할 때 유용한 기법이다. 여기서, 보편적으로 자주 이용되는 척도로는 Pearson 상관계수(Correlation Coefficient, r)가 많이 이용되며, 상관계수는 -1에서 1까지의 값을 취하는데 절대값이 1에 가까울수록 상관성이 강하다는 것을 의미한다.

2.4. 주성분분석 및 인자분석

다변량 분석법 중 주성분 및 요인분석을 실행하여 각 유역의 수질변동 특성을 파악하고자 한다. 주성분분석은 다변량 분석의 여러 가지 기법 중에서도 가장 기본이 되는 분석 방법으로서 변수 간에 상관성을 갖는 여러 종류의 특성치들의 정보를 큰 손실 없이 요약 표현이 가능하며, 상호유관한 특성치들의 변화 양상으로부터 이들 속에 내재하고 있는 상호 독립적인 고유의 패턴을 도출할 수 있다. 또한 다변량으로 구성되는 데이터로부터 소수의 특징적인 변량을 합성하여 주성분을 산출하고, 차원이 축소되어 데이터 분석이 용이해진 주성분을 사용하여 전체 다변량 데이터의 경향을 분석하게 된다(Park and Rhee, 2012). 즉, 주성분을 구하고 해석하여 원 자료를 축약하는 방법을 주성분분석이라 하고 일단 자료를 간단히 하여 추후에 추가적인 다른 통계적 절차를 적용하기 위한 사전분석으로 볼 수 있다(Kim, Lee et al., 2007).

요인분석 기법은 특정 변수들 간의 상호 연관성을 보다 간결하게 분석해서 공통적으로 내재된 인자를 추출하여 전체 자료를 대변할 수 있는 변수의 수를 줄이는 기법으로 상관관계가 높은 변수들이 가지고 있는 공통성을 중심으로 하나의 동질적인 요인으로 묶어주는 분석 방법이다(Jung et al., 2013). 한편, 추출된 고유치(Eigen Value)는 요인이 설명할 수 있는 변수들의 분산 크기를 나타내는 것으로 고유치가 1보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분석을 설명해 준다는 것을 의미하며, 고유치가 1보다 작다는 것은 요인이 변수 1개의 분산도를 설명해 줄 수 없다는 것을 의미하므로 주요인을 추출하기 위해서는 통상 고유치가 1 이상인 것을 기준으로 결정한다(Park et al., 2013). 그러나 변수들이 어떤 요인들에 대하여 요인 부하량을 나타낼 때 비슷한 부하량을 나타낼 경우 어느 요인에 해당하는지 분류하기가 쉽지 않기 때문에 비슷한 요인 부하량이 어느 한 요인에 높게 나타나도록 하기 위해서는 요

Table 1. Descriptive statistics of water quality parameters at the monitoring sites

Sites	Variable	WT	pH	EC	DO	BOD ₅	COD	SS	T-N	T-P	TOC
SA	Maximum	29.9	8.7	276.0	14.9	4.1	9.4	158.5	4.4	0.386	7.5
	Minimum	1.0	6.4	74.0	7.2	0.5	1.5	0.2	1.3	0.005	0.2
	Median	16.1	7.4	148.0	10.5	1.0	2.6	3.0	2.4	0.020	1.6
	Average	14.8	7.4	148.2	10.8	1.1	2.9	6.5	2.4	0.031	1.7
CA	Maximum	30.1	8.4	206.0	15.0	1.7	4.6	26.6	4.4	0.057	2.5
	Minimum	0.0	6.6	77.0	7.0	0.4	1.6	0.1	1.4	0.005	0.2
	Median	17.0	7.6	125.0	10.8	1.0	2.6	2.2	3.0	0.015	1.4
	Average	15.5	7.6	124.2	11.1	1.0	2.7	3.0	2.9	0.018	1.4
SB	Maximum	29.0	8.6	157.0	14.6	3.5	7.3	22.6	3.3	0.054	4.5
	Minimum	1.0	6.5	62.0	7.4	0.5	2.3	0.4	1.0	0.004	0.9
	Median	15.0	7.6	104.0	11.3	1.2	3.5	1.7	1.6	0.013	2.2
	Average	14.2	7.6	102.3	11.4	1.3	3.7	2.5	1.6	0.016	2.2
OA	Maximum	32.9	8.8	433.0	14.8	6.8	14.3	278.8	3.2	0.273	8.3
	Minimum	0.0	6.6	90.0	6.7	0.5	2.0	0.7	0.5	0.011	0.7
	Median	17.6	7.7	187.0	11.3	1.5	4.1	6.2	1.9	0.040	2.6
	Average	16.2	7.8	186.5	11.3	1.7	4.7	10.6	2.0	0.051	3.1
SC	Maximum	31.9	8.2	424.0	15.7	5.0	9.2	125.9	3.3	0.197	8.1
	Minimum	0.0	6.0	80.0	6.7	0.7	2.2	1.0	0.8	0.018	0.7
	Median	16.7	7.4	187.5	10.3	1.8	4.4	6.4	1.9	0.045	2.8
	Average	15.6	7.4	189.5	10.6	2.0	4.8	10.7	2.0	0.055	3.2
YA	Maximum	23.9	8.3	432.0	15.6	2.4	5.2	33.8	3.9	0.064	2.7
	Minimum	0.0	6.3	56.0	5.5	0.4	1.4	0.2	1.0	0.003	0.2
	Median	13.0	7.4	119.0	11.2	1.0	2.5	1.4	2.1	0.014	1.2
	Average	12.9	7.4	119.7	11.3	1.0	2.6	3.2	2.1	0.017	1.3
YB	Maximum	29.6	8.7	424.0	15.4	4.8	10.0	116.8	4.6	0.250	6.6
	Minimum	1.0	6.4	80.0	7.6	0.6	2.6	1.5	1.4	0.023	0.9
	Median	18.0	7.8	183.5	10.9	1.6	4.5	5.9	2.5	0.114	2.8
	Average	16.6	7.7	186.4	11.2	1.8	4.7	9.0	2.7	0.119	2.9
BA	Maximum	30.0	8.5	428.0	14.9	5.1	8.3	34.2	2.5	0.167	5.9
	Minimum	1.3	6.3	64.0	7.3	0.7	2.5	2.1	0.4	0.014	0.6
	Median	17.0	7.7	117.0	11.0	2.0	4.1	7.2	1.2	0.036	2.5
	Average	16.1	7.6	120.9	11.0	2.3	4.5	8.8	1.3	0.039	2.7
DA	Maximum	29.0	8.4	419.0	14.6	3.7	7.2	114.5	2.5	0.170	4.9
	Minimum	1.7	6.3	61.0	7.5	0.5	1.7	0.3	0.4	0.007	0.4
	Median	16.9	7.2	105.5	11.2	1.2	3.0	2.3	1.2	0.020	1.8
	Average	16.0	7.3	108.5	11.2	1.3	3.2	3.7	1.2	0.023	1.8
BB	Maximum	27.0	8.5	443.0	14.0	2.9	6.6	102.4	1.7	0.206	4.0
	Minimum	2.6	6.0	56.0	7.0	0.4	1.7	1.0	0.6	0.005	0.8
	Median	15.0	7.3	80.0	9.9	1.1	3.2	3.3	1.0	0.019	1.8
	Average	14.6	7.3	87.0	10.2	1.2	3.3	5.4	1.1	0.024	1.9
SD	Maximum	31.7	8.6	248.0	14.9	4.5	12.0	114.9	3.2	0.166	6.9
	Minimum	0.0	6.5	79.0	7.2	0.6	2.0	0.7	0.8	0.009	0.3
	Median	17.0	7.7	144.0	10.8	1.5	3.9	5.3	1.7	0.046	2.5
	Average	15.6	7.6	145.1	10.8	1.6	4.3	7.7	1.8	0.051	2.6
SE	Maximum	31.0	8.7	212.0	14.6	4.6	13.7	294.6	3.7	0.109	4.6
	Minimum	0.0	6.1	55.0	7.3	0.5	1.4	0.8	0.9	0.006	0.5
	Median	17.0	7.5	133.0	10.9	1.4	3.7	5.5	1.7	0.034	2.0
	Average	15.8	7.5	134.0	11.0	1.5	4.0	11.2	1.7	0.039	2.2

Fig. 2. Box plot of major water quality parameters in Sumjin River Basin.

Fig. 2. Box plot of major water quality parameters in Sumjin River Basin. (continued)

인축을 회전시키는 방식을 이용한다. 이러한 회전방식은 사각회전(Oblique Rotation)과 직각회전(Orthogonal Rotation) 방식으로 구분되고 직각회전방식에는 Varimax, Quartimax, Equimax 등이 있으며, 이 중에서 보편적으로 많이 이용되는 Varimax 직각회전방식을 사용하였다.

3. Results and Discussion

3.1. 대상유역의 수질 특성

섬진강 수계의 수질특성을 알아보기 위하여 각 지점별 특성치와 Box plot을 이용한 조사결과를 Fig. 2와 Table 1에 나타내었다. 섬진강 수계의 전체 지점에 대한 수질 농도를 살펴보면 BOD₅의 농도 범위는 0.4~6.8 mg/L, 평균 1.5 mg/L이며, COD의 경우 1.4~14.3 mg/L, 평균 3.8 mg/L로 나타나 BOD₅와 COD는 하천 생활환경기준 Ib등급(중음)에 해당한다. TOC의 농도 범위는 0.2~7.5 mg/L, 평균 2.3 mg/L로 나타났으며, SS의 경우 0.2~294 mg/L, 평균 6.9 mg/L이며, T-N은 0.4~4.6 mg/L, 평균 1.9 mg/L로 나타났다. T-P의 농도 범위는 0.005~0.386 mg/L, 평균 0.040 mg/L를 나타내어 하천 생활환경기준 Ib등급(중음)에 해당한다. 섬진강 수계를 전체 지점의 수질 농도로 평가한다면 양호한 수준으로 볼 수 있다. 그러나 섬진강 본류 지점의 SC, SD와 지류 지점의 OA, YB에서 COD는 하천 생활환경기준 II등급(약

간 중음)에 해당하며, T-P의 경우 II등급(약간 중음)과 III등급(보통)으로 조사되었다. 전반적으로 OA와 YB지점에서 COD, TOC, SS, T-P의 수질 항목에 대한 평균 농도가 타 지점과 비교해 볼 때 높은 것으로 조사 되었으며, 이러한 이유는 지점별 특성으로서 OA지점의 경우 농경지 및 축산 농가 등이 유역 인근에 위치하는 특성을 가지고 있으며, YB지점은 도시생활하수가 유입되는 도심하천인 동시에 요천의 말단부에는 축산 농가 등이 하천 인근에 위치하는 특성을 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 이에 섬진강 수계의 효율적인 수질관리를 위해서는 섬진강의 본류로 유입되는 지방하천에 해당하는 오수천과 국가 하천인 요천에 대한 집중관리가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

3.2. 수질항목별 상관분석결과

섬진강 수계의 상관분석을 위해 각 수질항목별로 약 1550개의 수질 자료를 이용하여 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 유기물 간접지표인 BOD₅와 COD, TOC의 상관계수를 살펴보면 0.715, 0.719로서 높은 양의 상관성($p < 0.01$)을 보이며, 특히 COD와 TOC의 경우 상관계수가 0.854로서 가장 높은 상관성을 보였다. 또한, T-P와 BOD₅, COD, TOC, SS에 대한 상관계수는 각각 0.482, 0.599, 0.608, 0.493으로 보통의 상관성을 보였다. 이는 본 연구대상 지점의 경우 특정 수질항목(BOD₅, COD, TOC, T-P, SS) 중 개

Table 2. Pearson correlation coefficient among the water quality parameters

Parameters	WT	pH	EC	DO	BOD ₅	COD	SS	T-N	T-P	TOC
WT	1									
pH	-0.025	1								
EC	-0.132**	0.161**	1							
DO	-0.837**	0.196**	0.194**	1						
BOD ₅	0.236**	0.140**	0.177**	-0.170**	1					
COD	0.403**	0.043	0.192**	-0.348**	0.715**	1				
SS	0.178**	-0.053*	-0.024	-0.235**	0.364**	0.569**	1			
T-N	-0.247**	0.044	0.325**	0.211**	-0.023	-0.022	0.112**	1		
T-P	0.220**	0.108**	0.314**	-0.206**	0.482**	0.599**	0.493**	0.318**	1	
TOC	0.370**	0.079**	0.311**	-0.322**	0.719**	0.854**	0.377**	0.010	0.608**	1

* ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$)

별 수질이 높으면 나머지 항목도 높아질 것으로 판단되며, Jung, Lim et al. (2012)이 영산강 수계의 소하천을 대상으로 수행한 수질항목별 상관분석의 연구결과와 유사하다. 그러나 T-N과 BOD₅, COD, TOC, T-P, SS의 경우 상관관계수가 -0.023, -0.022, 0.010, 0.318, 0.112로서 상관성이 매우 낮은 것으로 보이며, BOD₅와 COD의 경우 T-N의 수질 농도가 높아지면 반대로 다소 낮아지는 음의 상관성은 보였다. 이러한 이유는 BOD₅와 COD의 경우 평상시 보통의 수질을 유지하다가 강우 시에 농도가 높아지게 되며, 반면에 T-N의 경우에는 기저 유출에 의한 영향을 받아 비강우시에도 높은 농도를 나타내어 상대적으로 강우 시에는 영향을 적게 받는 것으로 사료 된다(Kim et al., 2004). 수온과 DO의 상관관계수가 -0.837로서 음의 상관성($p < 0.01$)을 보였는데, 이는 온도가 높을수록 산소의 용해도가 낮아지는 전형적인 경향이며 계절에 의한 영향으로 볼 수 있다.

3.3. 주성분 및 요인분석결과

연구지점에서 3년간 수집된 10개의 수질항목을 대상으로 해당 자료의 전체 수질(2010~2012)과 계절별 수질(봄 3~5월, 여름 6~8월, 가을 9~11월, 겨울 1~2월, 12월)로 구분하여 주성분 분석과 요인분석을 수행하였다. 주성분 수를 결정하기 위해서 요인을 설명하는 분산의 크기를 나타내는 고유치의 값이 1이상인 성분 축만을 고려하였다. 이는 고유치가 1이상일 경우에 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명하며, 고유치가 1이하인 경우에는 1개의 요인이 변수 1개의 분산을 설명할 수 없으므로 고유치가 1 이상이 되는 요인을 추출하는 방법을 사용하였다(Kim, Lee et al., 2007). 전체 수질의 주성분 분석에 대한 결과를 Table 3에 나타내었으며, 요인분석 결과는 요인과 변량과의 상관관계수에 따른 요인 구조를 명확하게 하기 위하여 직각 회전 방식인 Varimax 방식을 적용하여 Fig. 3과 Table 4에 나타내었다. 그 결과 3개의 주성분이 추출되었고 제 1요인의 고유치 3.788로서 37.884% 기여하고 있으며, 나머지 제 2요인과 제 3요인의 고유치와 기여율은 각각 2.019, 1.091과 20.193%, 10.913%로서 제 1요인부터 제 3요인까지 전체 분산의 68.990%를 설명해 주고 있다. 제 1요인은 BOD₅, COD, TOC, SS, T-P로 분류되었고 제 2요인은 T-N과 DO이며, 제 3요인은 pH로 분류되었다.

Table 4. Rotated component matrix by factor analysis

Parameters	Components		
	1	2	3
WT	0.391	-0.759	-0.122
pH	0.119	0.113	0.774
EC	0.370	0.524	0.266
DO	-0.347	0.742	0.334
BOD ₅	0.775	-0.098	0.262
COD	0.900	-0.180	0.031
SS	0.623	0.010	-0.398
T-N	0.196	0.722	-0.316
T-P	0.809	0.200	-0.130
TOC	0.885	-0.129	0.154

Fig. 3. Component plot in rotated space.

계절별 수질의 주성분 분석과 요인분석에 대한 결과를 Fig. 4와 Table 5에 나타내었다. 봄과 여름은 4개의 주성분이 추출되었고 고유치는 1이상에서 봄의 누적 기여율은 81.515%, 여름은 73.550%를 설명해 주고 있다. 가을과 겨울의 경우에는 3개의 주성분이 추출되었으며, 고유치 1이상에서 각각 65.072%와 72.721%로서 수질 변동을 설명해 주는 것으로 나타났다. 계절별 수질의 제 1요인은 가을을 제외한 모든 계절에서 전반적으로 BOD₅, COD, TOC, SS, T-P로서 전체 수질의 결과와 같았으며, 전체 결과를 종합해 보면 섬진강 수계의 대상 지점은 유기물과 영양염류, 부유물질의 영향을 동시에 받는 것으로 설명할 수 있다. Lee et al. (2008)에 의하면 T-P의 경우 토양 입자와 결합되

Table 3. Eigen values and cumulative percentage of factors

Component	Initial eigen values			Extraction sums of squared loadings		
	Total	Variance (%)	Cumulative (%)	Total	Variance (%)	Cumulative (%)
1	3.788	37.884	37.884	3.788	37.884	37.884
2	2.019	20.913	58.077	2.019	20.193	58.077
3	1.091	10.913	68.990	1.091	10.913	68.990
4	0.927	9.271	78.261			
5	0.810	8.100	86.361			
6	0.489	4.894	91.255			
7	0.356	3.563	94.818			
8	0.266	2.665	97.483			
9	0.147	1.474	98.957			
10	0.104	1.043	100.000

Fig. 4. Scree plot of total sampling stations (a) Spring (b) Summer (c) Fall (d) Winter.

Table 5. Rotated component matrix by factor analysis

Component		Parameters									
		WT	pH	EC	DO	BOD ₅	COD	SS	T-N	T-P	TOC
Spring	1	0.215	0.103	0.391	-0.151	0.880	0.935	0.734	-0.165	0.703	0.923
	2	0.853	0.055	-0.134	-0.913	0.078	0.168	0.306	-0.075	0.202	0.041
	3	-0.120	0.071	0.626	0.052	-0.081	-0.060	0.107	0.905	0.425	0.030
	4	0.309	0.950	0.230	0.151	0.177	0.134	-0.153	-0.057	0.048	0.088
Summer	1	0.160	0.166	0.158	-0.122	0.751	0.914	0.712	-0.001	0.708	0.796
	2	0.642	0.175	0.807	-0.110	0.185	0.178	-0.380	-0.030	0.176	0.443
	3	0.011	0.724	0.050	0.828	0.309	0.027	-0.124	0.041	-0.167	0.046
	4	-0.321	0.030	0.229	-0.011	-0.217	-0.072	0.296	0.920	0.412	-0.093
Fall	1	0.357	0.050	0.312	-0.297	0.586	0.842	0.676	0.245	0.775	0.768
	2	-0.641	0.035	0.450	0.601	-0.488	-0.127	-0.038	0.797	0.268	-0.139
	3	-0.172	0.814	0.431	0.431	0.254	-0.089	-0.398	-0.114	0.144	0.383
Winter	1	0.263	-0.217	0.277	-0.177	0.884	0.894	0.742	0.169	0.656	0.901
	2	0.021	0.617	0.681	0.158	0.010	0.108	-0.109	0.778	0.561	0.105
	3	0.852	0.064	-0.449	-0.855	0.041	0.128	0.297	-0.130	0.119	0.148

어 평소에는 유출이 일어나지 않지만 강우 시 토양입자의 이탈과 함께 수계로 다량 유출된다고 보고 하였다. 즉 T-P와 SS를 비롯하여 BOD₅, COD, TOC가 상관성이 높고 제 1요인으로 추출된 것으로 볼 때 강우 시에 수질 농도가 함께 상승하는 것으로 볼 수 있으며, 점오염원에 의한 영향보다는 비점오염원의 영향이 더 큰 것으로도 해석할 수 있

다. 이러한 결과는 Park et al. (2013)이 섬진강 수계의 주요 지천(추령A, 오수A)을 대상으로 유량-부하량 관계식을 이용하여 수행한 연구 결과와 유사하였다. 그러나 T-N의 경우 제 1요인에서 제외되었는데 이는 앞서 설명하였듯이 해당수계에 영향을 주는 것은 분명하나 T-N의 경우에는 기저 유출에 의한 영향을 받아 비강우시에도 높은 농도를

나타내어 상대적으로 강우 시에는 영향을 적게 받으므로 제 1요인과 상관성이 낮아지는 경향으로 볼 수 있다.

한편, 요인분석의 실행결과에 대한 타당성을 알아보기 위하여 Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)과 Bartlett's test를 실행하였으며, KMO test의 경우에는 측정할 샘플에 대한 변수의 크기가 적당한 가를 나타내는 척도로서 1에 근접한 값일수록 요인분석의 타당성이 높은 것으로 볼 수 있으며, 0.5이하일 경우에는 분석이 타당성이 없는 것으로 판단할 수 있다. Bartlett's test는 변수 간의 상관행렬이 단위행렬(대각선이 1이고 나머지는 0인 행렬)인지 아닌지를 검정하는 것을 말하며, 각 변수가 서로 상관성이 존재함을 나타낼 때 유의적인 관계라 하고 이때 0에 가까울수록 유의성이 높다고 할 수 있다(Bernad et al., 2004; Kim, Lee et al., 2007).

본 연구의 KMO test에 대한 결과에서 전체 수질을 대상으로 수행한 분석의 검정 값은 0.725이며, 계절별 수질의 분석에 대한 봄, 여름, 가을, 겨울의 검정 값은 0.756, 0.666, 0.684, 0.789로 나타났고, Bartlett's test는 모두 0.000(유의수준<0.05)이며 변수 간의 상관성이 있음을 나타내어 상관행렬이 단위행렬임을 기각하여 요인분석이 가능함을 설명해주고 있다.

4. Conclusion

본 연구에서는 섬진강 수계를 대상으로 다변량 분석기법을 적용하여 수질 항목간 상관분석과 주성분 및 요인분석을 수행하여 수질변동 특성을 알아보고자 하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 섬진강 수계는 본류로 유입되는 지류에 의한 영향이 큰 것으로 볼 수 있으며, 그중에서 OA와 YB 지점의 COD, TOC, SS, T-P에 대한 평균 농도가 타 지점과 비교해 볼 때 높은 것으로 조사되어 해당 지점은 집중관리가 필요할 것으로 판단된다. 수질인자간의 상관분석 결과에서 T-N을 제외한 수질항목(BOD₅, COD, TOC, SS, T-P)들은 전반적으로 높은 상관성을 나타내었으며, 연구대상 지점은 상관성이 높은 수질항목 중 특정 수질항목이 높으면 나머지 항목도 높아지는 것으로 해석할 수 있다. 한편 주성분 및 요인분석의 결과에서 전체 수질을 대상으로 3개의 주성분이 추출되었으며, 전체 분산의 68.990% 기여하였고, 계절별 수질의 경우에는 봄과 여름은 각각 4개의 주성분이 추출되었으며, 누적 기여율은 81.515%, 73.550%이다. 가을과 겨울의 경우 각각 3개의 주성분이 추출되었으며 65.072%와 72.721%의 누적 기여율을 나타냈다. 요인분석의 경우 계절적 특이성은 보이지 않았으며, 공통적으로 제 1요인은 BOD₅, COD, TOC, SS, T-P로 분류되었다. 전반적인 결과를 종합해 보면 섬진강 수계의 대상 지점은 유기물과 영양염류, 부유물질의 영향을 동시에 받는 것으로 사료된다.

References

Bernard, P., Antoine, L., and Bernard, L. (2004). Principal Component Analysis: an Appropriate Tool for Water Quality

- Evaluation and Management-application to a Tropical Lake System, *Ecological Modeling*, 178, pp. 295-311.
- Jung, J. W., Lim, B. J., Cho, S. H., Choi, J. H., Song, K. D., Ha, D. W., Kim, H. S., Park, S. H., Hwang, T. H., Jung, S. J., Lee, D. J., and Kim, K. S. (2012). The influence of Land Use on Water Quality in the Tributary of the Yeongsan River Basin, *Korean Journal of Limnology*, 45(4), pp. 412-419. [Korean Literature]
- Jung, S. J., Kim, K. S., Seo, D. J., Kim, J. H., and Lim, B. J. (2013). Evaluation of Water Quality Characteristics and Grade Classification of Yeongsan River Tributaries, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(4), pp. 504-513. [Korean Literature]
- Jung, S. J., Lee, D. J., Hwang, K. S., Lee, K. H., Cgoi, K. C., Im, S. S., Lee, Y. H., Lee, J. Y., and Lim, B. J. (2012). Evaluation of Pollutant Characteristics in Yeongsan River using Multivariate Analysis, *Korean Journal of Limnology*, 45(4), pp. 368-377. [Korean Literature]
- Kim, G. A., Kim, Y. J., Song, M. J., Ji, K. W., Yu, P. J., and Kim, C. W. (2007). Evaluation of Water Quality Characteristics in the Nakdong River using Multivariate Analysis, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 23(6), pp. 814-821. [Korean Literature]
- Kim, H. C., Yoon, C. G., Jung, K. W., and Jang, J. H. (2004). Analysis of Correlation among the Pollutant Concentrations in Stream to the Estuary Reservoir, *Proceedings of the 2004 Co-Conference of Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 62-71. [Korean Literature]
- Kim, J. G. (1998). Evaluation of Water Quality in the Keum River Estuary by Multivariate Analysis, *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 7(5), pp. 591-598. [Korean Literature]
- Kim, J. H., Choi, C. M., Kim, W. I., Lee, J. S., Jung, G. B., Han, K. H., Ryu, J. T., and Kwun, S. K. (2007). Multi-variate Statistical Analysis for Evaluation of Water Quality Properties in Korean Rural Watershed, *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 26(1), pp. 17-24. [Korean Literature]
- Kim, J. H., Choi, C. M., Lee, J. S., Yun, S. G., Lee, J. T., Cho, K. R., Lim, S. J., Choi, S. C., Lee, G. J., Kwon, Y. S., Kyung, K. C., Uhm, M. J., Kim, H. K., Lee, Y. S., Kim, C. Y., Lee, S. T., and Ryu, J. S. (2008). Characteristics of Groundwater Quality for Agricultural Irrigation in Plastic Film House using Multivariate Analysis, *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 27(1), pp. 1-9. [Korean Literature]
- Kim, M. A., Lee, J. K., and Zoh, K. D. (2007). Evaluation of the Geum River by Multivariate Analysis : Principal Component Analysis and Factor Analysis, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 23(1), pp. 161-168. [Korean Literature]
- Kim, Y. Y. and Lee, S. J. (2011). Evaluation of Water Quality for the Han River Tributaries using Multivariate Analysis, *Korean Society of Environmental Engineers*, 33(7), pp. 501-510. [Korean Literature]
- Lee, K. D., Kang, J. G., Gil, G. H., Lee, J. H., Lee, K. B., and Kim, J. D. (2008). Runoff Characteristics of Nitrogen and Phosphorus with Rainfall in Mankyong Upriver, *Proceedings*

- of the 2008 Conference of Korean Society of Soil Science and Fertilizer, Korean Society of Soil Science and Fertilizer, pp. 23. [Korean Literature]
- Lee, Y. S. and Kwon, S. H. (2009). A Study on Measuring the Similarity Among Sampling Sites in Lake Yongdam with Water Quality Data using Multivariate Techniques, *Korean Journal of Environmental Impact Assessment*, 18(6), pp. 401-409. [Korean Literature]
- National Institute of Environment Research (NIER). (2012). *Final report of the flow measurement at yeongsan river and sumjin river*, National Institute of Environment Research, pp. 1-404. [Korean Literature]
- Oh, Y. C., Lee, N. D., and Kim, J. G. (2004). The Evaluation of Water Quality in the Mankyung River using Multivariate Analysis, *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 13(3), pp. 233-244. [Korean Literature]
- Park, J. H., Jung, J. W., Kim, D. Y., Kim, K. S., Han, S. W., Kim, H. O., and Lim, B. J. (2013). Water Quality Characteristics of the Major Tributaries in Yeongsan and Sumlin River Basin using Statistical Analysis, *Korean Journal of Environmental Impact Assessment*, 22(2), pp. 171-181. [Korean Literature]
- Park, J. H., Sohn, S. M., and Rhew, D. H. (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), pp. 905-913. [Korean Literature]
- Park, J. S. and Rhee, K. H. (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), pp. 61-72. [Korean Literature]
- Rim, C. S. (1999). Multivariate Analysis of Water Quality Data at 14 Stations in the Geum-River Watershed, *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 8(3), pp. 331-336. [Korean Literature]
- Seymour, S. K., Christanis, K., Bouzinos, A., Papazisimou, S., Papatheodorou, G., Moran, E., and Denes, G. (2004). Tephro-Stratigraphy and Teptigraphy in the Philippi Peat Vasin, Macedonia, *Northern Hellas*, 121, pp. 53-65.
- Simeonov, V., Stratis, J. A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M., and Kouimtzis, T. (2003). Assessment of the Surface Water Quality in Northern Greece, *Water Research*, 37, pp. 4119-4124.
- Yu, S., Shang, J., Zhao, J., and Guo, H. (2003). Factor Analysis and Dynamics of Water Quality of the Songhua River, Northeast China, *Water Air and Soil Pollution*, 144, pp. 159-169.